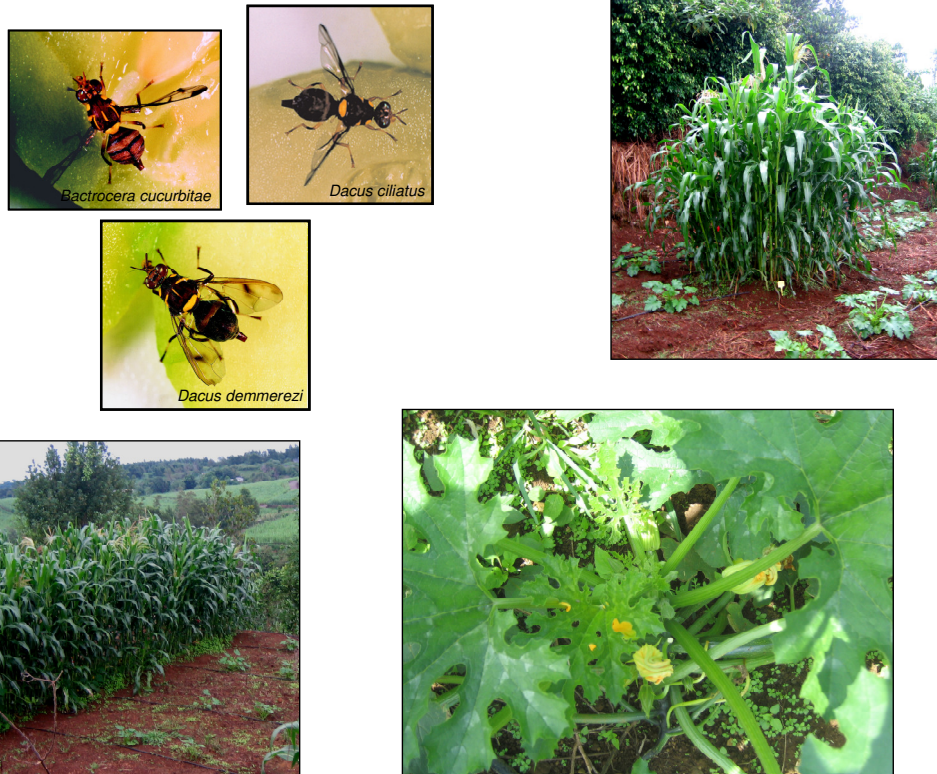
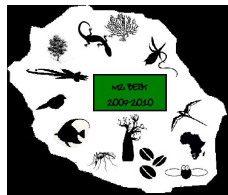


**Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae (Diptera :  
Tephritidae), une plante hôte (courgette) et une plante piège (maïs)  
disposée en bandes et patchs intra-parcellaires à La Réunion.**



Emilie Bonnet



Master professionnell « Biodiversité des EcoSystèmes Tropicaux »  
Spécialité « Biodiversité des Ecosystèmes Cultivés »  
Université de La Réunion  
Année 2009 / 2010

Directeur de stage : Jean-Philippe Deguine  
UMR PVBMT (CIRAD) - Station de Ligne Paradis - 7, chemin de l'IRAT - 97410 Saint Pierre  
02 62 49 92 31 - [jean-philippe.deguine@cirad.fr](mailto:jean-philippe.deguine@cirad.fr)

Stage réalisé à L'UMR PVBMT / CIRAD

## **Résumé :**

Les mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae), *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezi* ont une forte incidence économique à l'île de La Réunion. La lutte chimique n'est plus considérée comme une solution durable de part les coûts et les dommages écologiques qu'elle occasionne. L'incorporation de biodiversité végétale dans les cultures et, notamment l'utilisation du maïs en tant que plante-piège, constitue un des modes de gestion privilégié, dans le cadre d'une gestion agroécologique. La communauté de Mouches des Légumes présente à Tan Rouge en 2010, se caractérise par une augmentation des effectifs en fin de période, alors que le maïs est vieillissant et sec et qu'il n'y a plus de fruits (probablement en raison de l'émergence d'une deuxième génération d'adultes à partir des premières pontes observées. Cette communauté est dominée par *B. cucurbitae* à plus de 50% durant toute la période d'observation. Le maïs accueille la majorité du peuplement (plus de 99% des adultes observés). Le sex-ratio est équilibré sur le maïs ( $47\% \pm 4\%$ ), seules les femelles se rendent sur la culture. Le maïs abrite la majorité du peuplement qui est au repos durant la journée. Les mouches s'y concentrent au lever du jour puis se dispersent à la tombée de la nuit. La fréquentation de la culture, lorsque celle-ci présente des fruits, est une caractéristique des femelles. Elles se rendent sur la culture à des tranches horaires spécifiques, pour pondre. La forme et la taille de l'insertion de maïs influe sur la concentration des mouches. Le dispositif d'incorporation du maïs en forme de patch concentre plus de mouches que le dispositif en forme de bandes. L'utilisation des deux dispositifs peut cependant être envisagée.

**Mots clés :** Mouches des Cucurbitaceae, La Réunion, Plante-piège, Maïs.

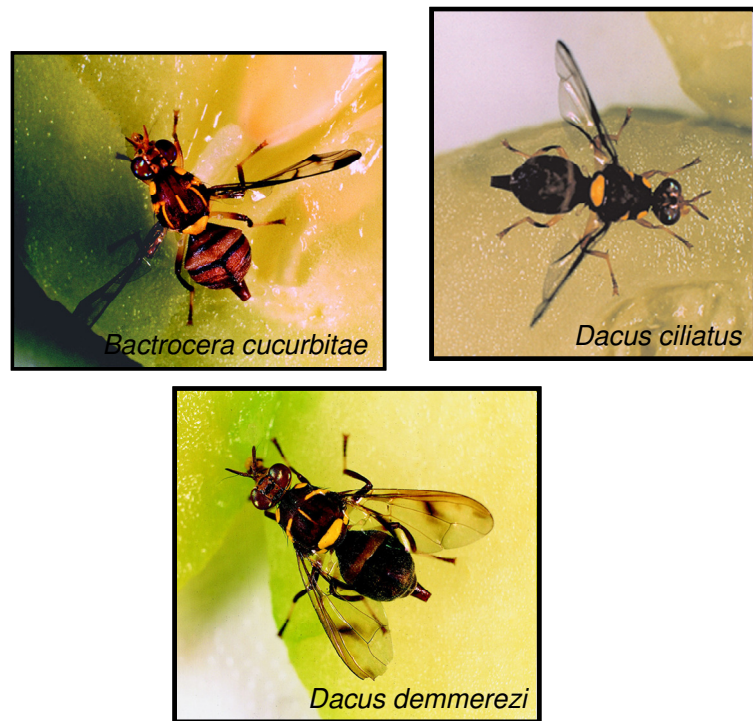
## **Abstract :**

Cucurbit flies (Diptera: Tephritidae), *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* and *Dacus demmerezi* have a strong economic impact on Reunion island. Chemical control is not considered as a sustainable solution because of its economic cost and environmental damages. The incorporation of plant biodiversity in crops, with the use of maize as a trap crop, is one of management chosen, as part of agro-ecological management. The community of Cucurbit flies present at Tan Rouge in 2010, is characterized by increased numbers, while maize is dry and there is no more fruit. This community is dominated by *B. cucurbitae*, more than 50% throughout the observation period. Maize is hosting the majority of the population (over 99% of adults observed). The sex ratio is stable on maize, only the females go to the crops. Maize is a refuge for the majority of the community during the day, where the entire population is roosting. The flies are concentrated at dawn and disperse at dusk. The attendance of culture, when fruit are present, is a characteristic of females. They move to the culture at specific hours, to lay. The shape and size of the inclusion of maize affects the concentration of flies. The system of maize as patch focuses more flies than the system in form of strips.

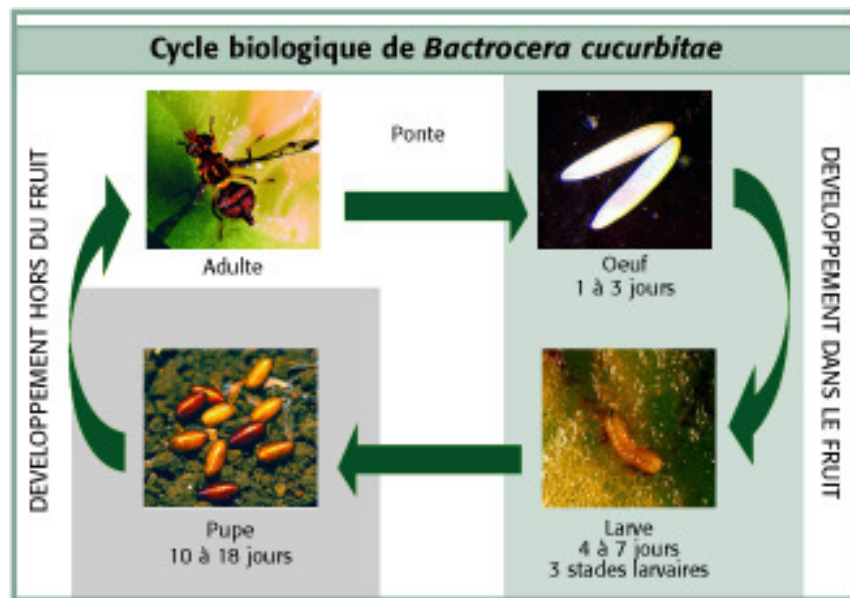
**Keywords :** Cucurbit flies, Reunion Island, Maize, Trap crop.

Photos : S. Duhautois, JP Deguine, JF Vayssières.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introduction .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2. Matériel et méthodes .....</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1. Site d'étude .....   | 5         |
| 2.2. Protocoles expérimentaux .....   | 5         |
| 2.3. Analyse des données .....  | 6         |
| <b>3. Résultats .....</b>   | <b>8</b>  |
| 3.1. Caractéristiques du peuplement des mouches .....   | 8         |
| 3.1.1. Evolution des effectifs au cours de la saison et abondance relative de chaque espèce .....     | 8         |
| 3.1.2. Sex-ratio .....  | 9         |
| 3.2. Répartition spatiale des mouches des Cucurbitaceae entre le maïs et la courgette .....           | 9         |
| 3.2.1. Abondance relative des trois espèces sur maïs et courgette .....                               | 9         |
| 3.2.2. Interaction « plante-sexe » pour chacune des espèces .....                                     | 10        |
| 3.3. Rythmes journaliers et activités ... ..  | 10        |
| 3.3.1. Rythmes journaliers .....  | 10        |
| 3.3.2. Activités .....  | 12        |
| 3.3.2.1. Importance du comportement de « repos » sur le maïs .....                                    | 12        |
| 3.3.2.2. Ponte sur la courgette .....   | 12        |
| 3.4. Comparaison des systèmes « courgette + bandes de maïs » et « courgette + patchs de maïs » ... .. | 13        |
| 3.4.1. Evolution des densités de mouches sur bandes et patchs de maïs .....                           | 13        |
| 3.4.2. Comparaison des effectifs de mouches sur bande et patch pour chaque date d'observation .....   | 14        |
| 3.4.3. Evolution journalière des mouches sur bandes et patchs ... ..                                  | 14        |
| <b>4. Discussion .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>5. Conclusion .....</b>  | <b>21</b> |



**Figure 1** : Femelles adultes des trois Mouches des Cucurbitacées nuisibles à La Réunion (Photo : JF Vayssières, CIRAD).



**Figure 2** : Cycle biologique des Mouches des Cucurbitacées (Source : [www.prpv.org](http://www.prpv.org)).

## 1. INTRODUCTION (1)

---

### ✓ Contexte et enjeux

Avec le développement des cultures et des échanges commerciaux, de nombreuses espèces végétales et animales ont été introduites accidentellement, notamment diverses espèces d'insectes ravageurs appartenant à l'ordre des Diptères (Duyck *et al.* 2004). Souvent introduites sans leurs prédateurs naturels, leur installation et leur développement provoquent un déséquilibre au sein des écosystèmes indigènes dans lesquels elles s'intègrent, causant de nombreux dégâts dans la production agricole ainsi que d'importantes pertes pour l'économie locale. Ainsi, sept espèces de Tephritidae ont été introduites à La Réunion au cours de la deuxième moitié du XXème siècle. Nous nous intéressons ici à trois espèces de Mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae, cf. Annexe 1) : *Bactrocera cucurbitae* Coquillett, *Dacus ciliatus* Loew et *Dacus demmerezii* Bezzi, qui représentent les principaux ravageurs des cultures de Cucurbitacées et peuvent entraîner jusqu'à 90% de pertes (Vayssières, 1999).

Plusieurs caractères morphologiques, notamment sur les ailes et le thorax, permettent de distinguer ces trois espèces (Figure 1, Annexe 2). La distinction entre mâles et femelles repose essentiellement sur la présence chez la femelle d'un ovipositeur à l'extrémité de l'abdomen. Les Dacini sont des insectes holométaboles. On distingue un stade œuf, un stade larve (asticot), un stade puppe et un stade adulte (Figure 2) ; c'est le stade larvaire, lorsque les asticots se nourrissent de la pulpe des légumes, qui est à l'origine de la majeure partie des dégâts observés. Il existe quatorze espèces de Cucurbitacées à La Réunion dont huit sont cultivées (Quilici & Jeuffrault, 2001). La production de fruits et légumes étant l'une des trois plus importantes sources de revenus de l'agriculture réunionnaise après la canne à sucre et l'élevage (Agreste Réunion, 2009), la gestion de ces ravageurs constitue un enjeu économique primordial à La Réunion.

L'élimination de ces ravageurs, dont l'impact est considérable, repose actuellement sur une utilisation massive d'insecticides (Ryckewaert *et al.* 2010). Cette lutte chimique, avec les conséquences sanitaires et écologiques qu'elle occasionne (Multigner, 2005 ; Andrea *et al.* 2000), n'est pas une solution durable et a montré ses limites par les coûts qu'elle entraîne et la baisse d'efficacité qui est observé (Roessler, 1989 ; Dhillon *et al.* 2005). C'est la raison pour laquelle le CIRAD a mis en place un programme basé sur une gestion agro-écologique des populations de Mouches des Cucurbitaceae dans le but d'appliquer à La Réunion une protection phytosanitaire durable et efficace, limitant l'apport d'intrants chimiques. L'idée directrice de l'agroécologie est de s'inspirer du fonctionnement des chaînes trophiques de la biosphère pour réduire le recours aux intrants (engrais, pesticides, énergie) et préserver la biodiversité. Il s'agit donc de reproduire des

(1) Un rapport bibliographique des connaissances relatives au sujet a été rédigé. Il est proposé au lecteur de s'y référer



processus écologiques naturels, mais non pas de les copier car il convient de tenir compte de l'intervention des activités humaines (Deguine *et al.* 2008).

Un des principes d'une gestion agro-écologique des ravageurs est l'incorporation de biodiversité végétale, le second étant le maintien ou la restauration de la santé du sol (Nicholls & Altieri, 2004). Les dommages causés par les ravageurs étant plus importants en monoculture qu'en polyculture, l'introduction de biodiversité végétale constitue un bon moyen de lutte contre les insectes nuisibles. Par exemple l'utilisation de plantes pièges, représente un des modes de gestion actuellement privilégié en vue de rétablir des interactions durables entre communautés animales (mouches, ennemis naturels) et végétales (culture, plantes pièges). Le principe des plantes pièges repose sur l'utilisation d'une espèce ou d'un mélange d'espèces plantées en fonction de la culture principale dans le but d'attirer les insectes ravageurs à l'endroit souhaité (Smith & McSorley, 2000). Les plantes pièges conviennent lorsqu'elles représentent pour le ravageur un habitat alternatif pour se nourrir et se reproduire, et l'amènent ainsi à délaisser la culture primaire (Hannunen, 2005 ; Bensen & Temple, 2008). De ce fait, ces insectes nuisibles sont concentrés sur la culture secondaire, qui constitue alors un lieu privilégié de leur gestion. L'incorporation de plantes pièges au sein d'un écosystème cultivé peut s'effectuer selon différentes modalités. Une culture piège peut s'insérer dans le temps, au travers de cultures intercalaires ou par l'application d'une rotation des cultures, mais peut également s'insérer dans l'espace. Ainsi, l'efficacité d'une culture piège dépend de sa forme (bordures, bandes, patches), sa taille, sa densité et sa composition végétale. La plante piège utilisée doit être plus attractive pour le ravageur que la culture principale, dans notre cas, les cultures de Cucurbitaceae.

Le maïs est une plante tropicale herbacée annuelle de la famille des Poacées, largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère. A Hawaï comme à La Réunion la capacité du maïs, planté en bordure, à attirer les populations d'adultes de mouches du melon a été mise en évidence. Par l'abri et la source alimentaire qu'elle fournit, cette plante est très attractive (Nishida & Bess, 1957 ; Mac Quate *et al.* 2003 ; Mac Quate & Vargas, 2007 ; Atiama, 2008). C'est pourquoi on peut la considérer comme une « plante refuge » efficace. En concentrant les populations adultes sur ce type de plante non hôtes, on facilite la gestion des populations en terme de surveillance, ou d'élimination (Cook *et al.* 2007). De plus, le maïs, introduit à La Réunion par les premiers habitants vers 1663, s'intègre bien aux pratiques culturelles locales et peut constituer une ressource secondaire destinée à l'élevage vivrier.





## ✓ Problématique et objectifs de l'étude

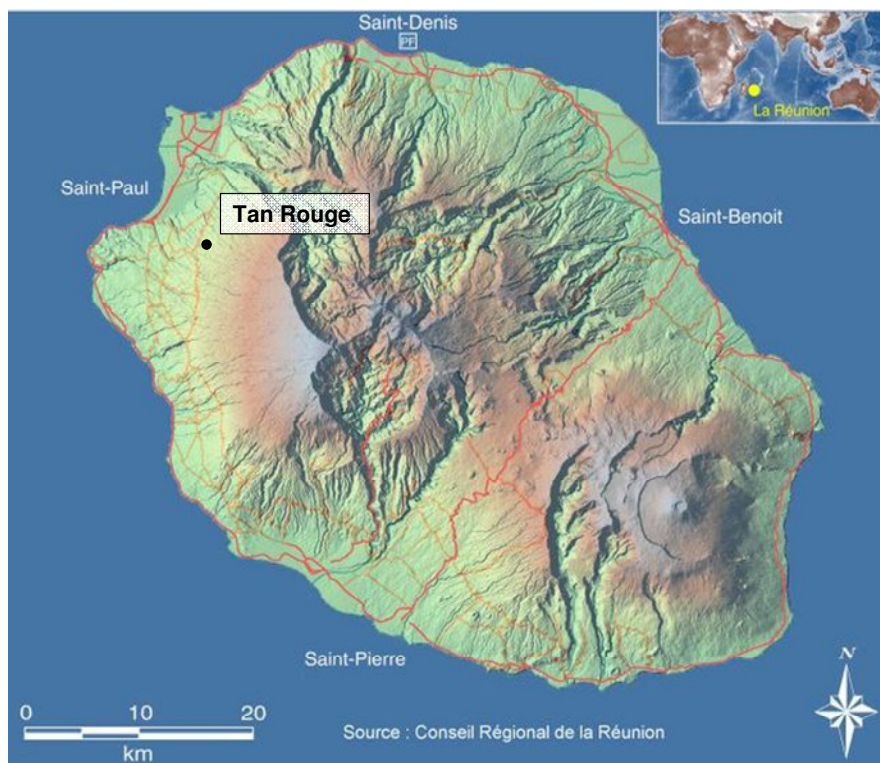
Jusqu'à maintenant les études menées dans le cadre d'une gestion des mouches des Cucurbitaceae, ont considéré l'insertion de maïs dans l'écosystème cultivé selon des bordures entourant la parcelle de Cucurbitacées.

On sait que les trois espèces de Mouches des Légumes présentes à La Réunion suivent un rythme circadien particulier (Atiama, 2008 ; Petite, 2009). En effet, dans un écosystème cultivé de type « cucurbitacées + bordures de maïs », la majorité des populations de mouches adultes passent leur journée sur le maïs, qui leur sert d'abri et de source de nourriture, et sur lequel elles effectuent leurs principales activités. Seules les femelles se rendent au sein des cultures de Cucurbitacées pour y pondre à certaines heures particulières de la journée.

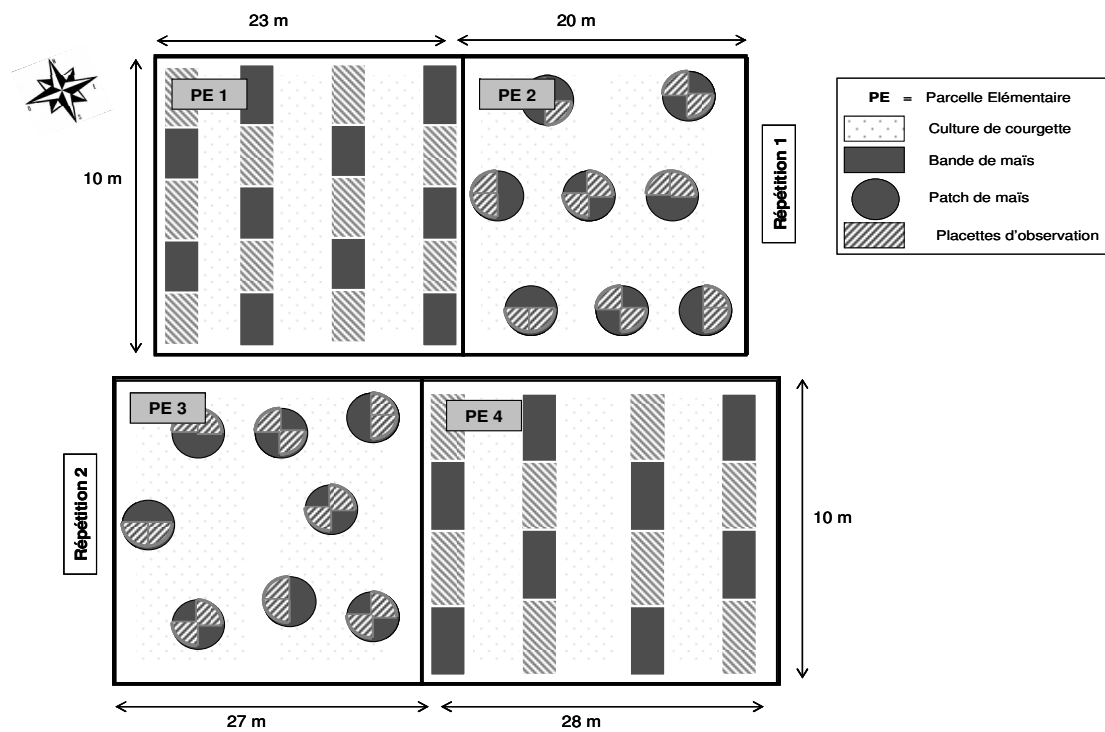
On se propose ainsi d'étudier les interactions entre les mouches, la courgette et le maïs, dans le cas où le maïs est disposé en bandes ou en patchs. Notre étude se place dans une problématique globale : Peut-on envisager d'utiliser d'autres modalités d'incorporation du maïs, que les bordures, telles que des bandes ou des patchs placés à l'intérieur de la parcelle ? Les rythmes journaliers des mouches des Cucurbitaceae observés sur bordure de maïs, se vérifient-ils pour des systèmes de type « courgette + bandes de maïs » ou « courgette + patchs de maïs » ?

Les objectifs scientifiques sont les suivants :

- étudier les caractéristiques du peuplement des mouches des Cucurbitaceae sur le maïs.
- quantifier la répartition des effectifs de mouches entre le maïs et la courgette.
- décrire les rythmes journaliers et les activités des adultes des 3 espèces.
- comparer l'attractivité des bandes et des patchs pour les adultes de mouches.



**Figure 3** : Carte de La Réunion et localisation du site d'étude.



**Figure 4** : Schéma des parcelles expérimentales à Tan Rouge.

## 2. MATERIEL ET METHODES

---

### 2.1. Site d'étude

On dispose pour cette étude d'une parcelle expérimentale localisée à Tan Rouge dans les Hauts de Saint Paul (Figure 3).

Le dispositif mis en place par l'agriculteur (Mr S. Glenac), à Tan Rouge, est situé à 750 m d'altitude. On dispose de deux répétitions (parcelles de courgette et maïs, cf. Figure 4). Chaque répétition comprend deux parcelles élémentaires, l'une correspondant au système « courgette + bandes de maïs », l'autre au système « courgette + patchs de maïs ». Les bandes (4 par répétition) sont constituées de trois rangs de maïs (1 m de large), et les patchs (8 par répétition) mesurent 1,5m de diamètre. Les bandes et patchs de maïs sont divisés en placettes d'observation (Figure 4). Sur ces parcelles élémentaires, le maïs est semé le 4 janvier 2010 et la courgette le 10 février 2010.

### 2.2. Protocole expérimental

#### ✓ Observations sur les plantes

Pour quantifier les populations de mouches adultes, les observations portent à l'intérieur de chaque parcelle sur la totalité des plants de courgette et seulement une partie des plants de maïs (cf. Figure 4). Pour chaque individu, on distingue l'espèce, le sexe, et son activité.





#### ✓ Fréquence des observations.

Les observations à Tan Rouge sont faites une fois par semaine et s'étalent de mars à mai 2010. Durant chaque date d'observation, un dénombrement à vue des mouches des Cucurbitaceae est effectué sur le maïs et sur la culture toutes les heures, de 7h00 à 18h00. Les observations sont répétées de la même manière à chaque heure (soit 12 observations par jour) et effectuées par plusieurs observateurs (chacun faisant toujours le même type d'observation).

#### ✓ Stades phénologiques du maïs et de la courgette.

Lors de chaque observation, l'état de la parcelle est également décrit : la présence de fruits sur les courgettes, et le stade phénologique du maïs. Pour pouvoir étudier l'influence de l'âge du maïs sur le niveau des populations, quatre principaux stades de développement du maïs ont été déterminés. Ces

**Tableau 1** : Stades phénologiques de croissance du maïs (Weber & Bleiholder, 1990 ; Lancashire *et al.* 1991).

| Morphologie   | Stades phénologiques de croissance et clé d'identification du maïs (Weber & Bleiholder, 1990 ; Lancashire <i>et al.</i> 1991).   | Stades simplifiés considérés pour l'étude. |
|---|--|--|
|    | <p><u>Stade principal de croissance 3</u> : Elongation de la tige principale (Annexe 3).</p> <p><u>Stade principal de croissance 5</u> : Emergence de l'inflorescence mâle.</p> <p>Bout de l'épi (panicule) visible.</p> | S1   |
|    | <p><u>Stade principal de croissance 6</u> : Floraison, anthèse.</p> <p>Floraison des épillets (panicule) et apparition des stigmates sur épi.</p>  | S2   |
|   | <p><u>Stade principal de croissance 7</u> : Développement du fruit.</p> <p>Développement des grains de maïs (accumulation de lait)</p>   | S3   |
|  | <p><u>Stade principal de croissance 8</u> : maturation / vieillissement.</p> <p>Les grains deviennent jaunes, durs et brillants.</p> <p>La plante sèche.</p>   | S4   |

**Tableau 2** : Surface des parcelles et calcul des coefficients de pondération.

| Répétition   | Parcelle Élémentaire | Surface totale (m <sup>2</sup> ) | Surface plantée (m <sup>2</sup> ) |      | Surface observée (m <sup>2</sup> ) |      | Coefficient de pondération |       |
|--------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------|------------------------------------|------|----------------------------|-------|
|              |                      |                                  | Courgette                         | Maïs | Courgette                          | Maïs | Courgette                  | Maïs  |
| Répétition 1 | PE1                  | 230                              | 190                               | 40   | 190                                | 20   | 0,53                       | 5,00  |
|              | PE2                  | 204                              | 190                               | 14   | 190                                | 7    | 0,53                       | 14,29 |
| Répétition 2 | PE3                  | 264                              | 250                               | 14   | 250                                | 7    | 0,40                       | 14,29 |
|              | PE4                  | 240                              | 250                               | 40   | 250                                | 20   | 0,40                       | 5,00  |

4 stades ont été simplifiés à partir de l'échelle des stades phénologiques des céréales (Weber & Bleiholder, 1990 ; Lancashire *et al.* 1991 ; cf. Tableau 1).

### **2.3. Analyse des données**

#### **✓ Pondération des résultats d'observation.**

Les surfaces des parcelles élémentaires ainsi que les surfaces plantées et observées en maïs et en courgette ne sont pas égales. Dans le but d'être comparés, les effectifs observés sont ramenés à une densité pour 100 m<sup>2</sup> pour chaque parcelle élémentaire (Tableau 2).

#### **✓ Estimation des effectifs pour une journée : estimation des valeurs manquantes par la méthode d'interpolation linéaire.**

Lors des dénombrements des effectifs de mouches des Cucurbitaceae, certains relevés n'ont pu être effectués pour différentes raisons (pluie, autres essais, etc.). Certaines études nécessitent cependant de travailler sur les 12 observations cumulées de la journée. La méthode choisie pour estimer les valeurs manquantes est l'interpolation linéaire. Elle permet d'obtenir une estimation des données manquantes via des régressions linéaires. Une régression linéaire multiple est effectuée entre l'heure contenant une donnée manquante et les autres heures choisies sans données manquantes. On choisit ensuite la régression linéaire la mieux corrélée avec notre valeur manquante ( $R^2$  le plus proche de 1). On en déduit enfin la valeur manquante. L'annexe 4 présente le tableau de données intégrant les estimations des valeurs manquantes.

Par ailleurs, deux dates « 10/03 et 04/05 » contenant trop de valeurs manquantes n'ont pas été prises en compte.

#### **✓ Analyses statistiques et présentation des résultats**

Les représentations graphiques et les analyses statistiques nécessaires à l'interprétation des résultats sont effectuées à l'aide du logiciel gratuit R (version 2.10.1., R development Core Team, 2009, Lyon, France). Tous les tests sont considérés comme significatifs au seuil de 5 %.

##### **○ Analyse de la répartition spatiale des populations d'adultes entre maïs et courgette :**

Dans un premier temps, on considère l'effectif recensé quotidiennement (= somme de 12 observations), par espèce et par plante. Cette variable permet de mettre en évidence le déséquilibre de la répartition spatiale entre maïs et courgette, en raisonnant sur un nombre important d'individus.



Le test statistique utilisé est un test binomial exact. On teste l'hypothèse suivante pour chaque date, chaque espèce :

$$\mathbf{H_0} : P(\text{maïs}) = P(\text{courgette}) \text{ vs. } \mathbf{H_1} : P(\text{maïs}) \neq P(\text{courgette})$$

Avec :

$$P(\text{maïs}) = \frac{E_m}{E_m + E_c} \times 100$$

$E_m$  = effectif sur le maïs

$E_c$  = effectif sur la courgette

- Analyse du sex-ratio des populations d'adultes, par espèce, par date et par plante :

On cherche à savoir si l'effectif des mâles est équivalent à celui des femelles sur maïs et sur courgette, pour les différentes dates d'observations et chaque espèce. Comme précédemment, un test binomial est appliqué en raisonnant sur les effectifs quotidiens. L'hypothèse testée est la suivante :

$$\mathbf{H_0} : \text{Effectif (femelle)} = \text{Effectif (mâle)} \text{ vs. } \mathbf{H_1} : \text{Effectif (femelle)} \neq \text{Effectif (mâle)}$$

L'objectif est ensuite de déterminer s'il existe des différences entre le sex-ratio sur le maïs et le sex-ratio sur la courgette. Pour cela, on réalise un test de comparaison de pourcentages (prop.est) réalisé à partir de la variable Pf correspondant à la proportion de femelles (= effectif quotidien de femelles / effectif quotidien de la population totale \* 100). L'hypothèse testée est la suivante :

$$\mathbf{H_0} : P_f(\text{maïs}) = P_f(\text{courgette}) \text{ vs. } \mathbf{H_1} : P_f(\text{maïs}) \neq P_f(\text{courgette})$$

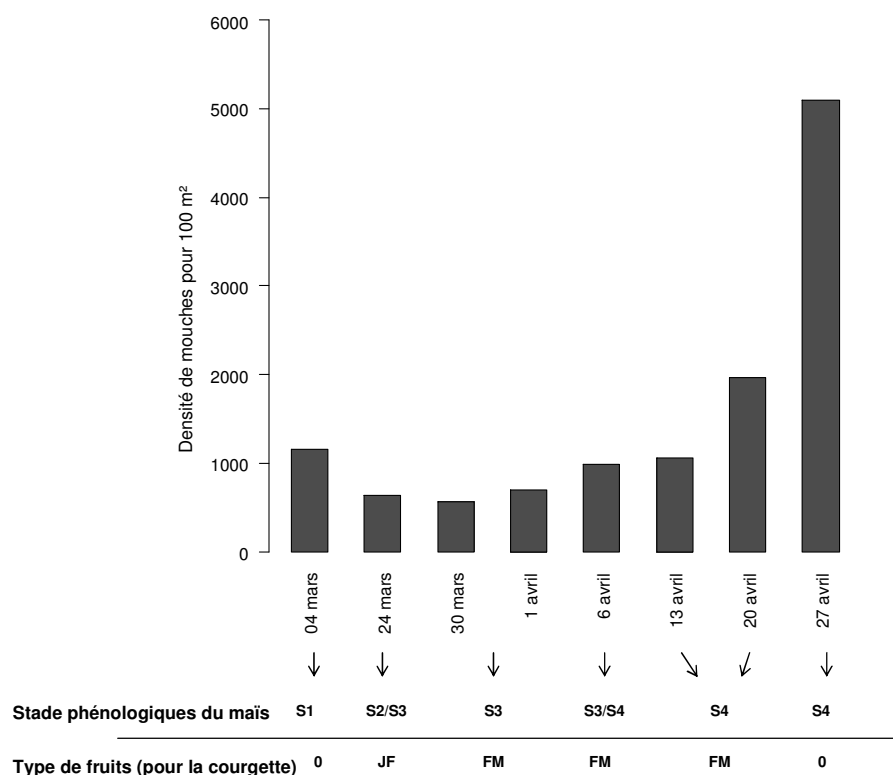
- Analyse de la répartition de la population d'adultes sur bandes et patchs de maïs.

On cherche à savoir si les effectifs de mouches observées sur bandes de maïs sont équivalents à ceux sur patchs de maïs. Pour cela, un modèle linéaire généralisé (glm) avec la fonction de lien log (distribution de Poisson) est utilisé, en considérant les effectifs quotidiens. La significativité des effectifs est vérifiée par un test de rapport de vraisemblance basé sur le test du Chi<sup>2</sup>. En cas de différences significatives, un test de comparaison multiple est réalisé (Tukey). Ainsi, l'hypothèse testée est la suivante :

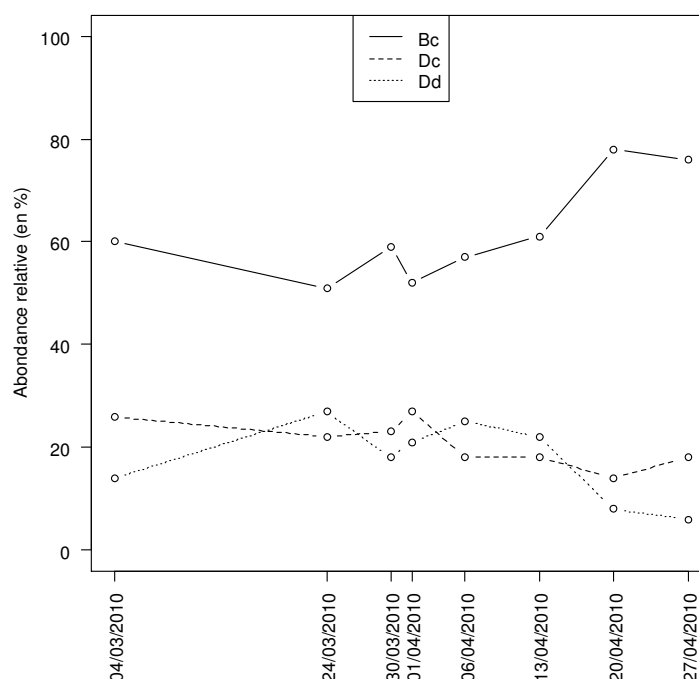
$$\mathbf{H_0} : \text{Effectif (bandes)} = \text{Effectif (patch)} \text{ vs. } \mathbf{H_1} : \text{Effectif (bandes)} \neq \text{Effectif (patches)}$$

La même démarche est parfois utilisée, en raisonnant non plus sur les effectifs mais sur les densités de mouches (= effectifs quotidiens ramenés à une surface de 100 m<sup>2</sup>).





**Figure 5 :** Evolution saisonnière de la densité des mouches des Cucurbitaceae (densité d'adultes observés pour 100 m² de maïs) à Tan Rouge durant les mois de mars et avril 2010. Les stades phénologiques du maïs (S1 : Stade végétatif ; S2 : Floraison / anthèse ; S3 : Maturation du fruit ; S4 : Vieillesse, maïs sec) et de la courgette (0 : absence de fruits ; JF : jeunes fruits ; FM : fruits mûrs) sont mis en relation avec cette évolution.



**Figure 6 :** Evolution saisonnière de l'abondance relative de *Bactrocera cucurbitae* (Bc), *Dacus ciliatus* (Dc) et *Dacus demmerezii*, (Dd) sur le maïs, de mars à avril 2010 à Tan Rouge.

### 3. RESULTATS

---

Les résultats sont présentés en quatre parties. Dans une première partie, les caractéristiques générales du peuplement de Mouches des Cucurbitaceae présentes sur le maïs sont détaillées. Une deuxième partie est consacrée à la répartition spatiale des mouches entre le maïs et la courgette, une troisième partie aux rythmes journaliers et activités des mouches. Enfin, dans la dernière partie l'attractivité des systèmes « courgette + bandes de maïs » et « courgette + patchs de maïs » est comparée.

#### **3.1. Caractéristiques du peuplement des mouches des Cucurbitaceae sur le maïs.**

Sur l'ensemble de l'essai, et l'ensemble des dates d'observation, le maïs héberge 99,2% du peuplement des mouches, sur plus de 10.000 mouches observées (cf. partie 3.2.1.). C'est la raison pour laquelle cette partie est consacrée aux caractéristiques de la communauté observée sur le maïs uniquement.

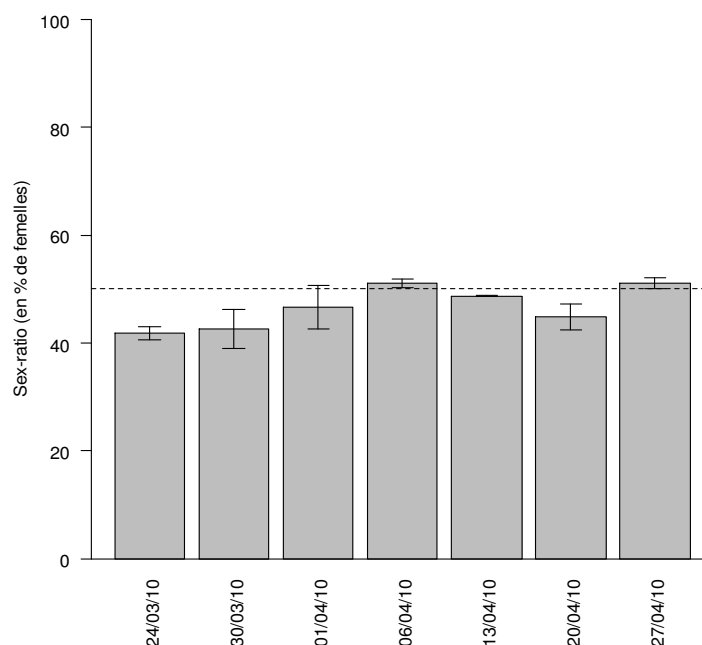
##### **3.1.1. Evolution des effectifs au cours de la saison et abondance relative de chaque espèce au sein du peuplement.**

La figure 5 présente l'évolution saisonnière des densités d'adultes de mouches des Cucurbitaceae (pour 100 m<sup>2</sup>) observées sur le maïs. Les densités sont calculées à partir d'un cumul des mouches observées sur deux répétitions, et sur 12 relevés par jour (avec pour certains relevés, des données estimées, cf. partie 2.3).

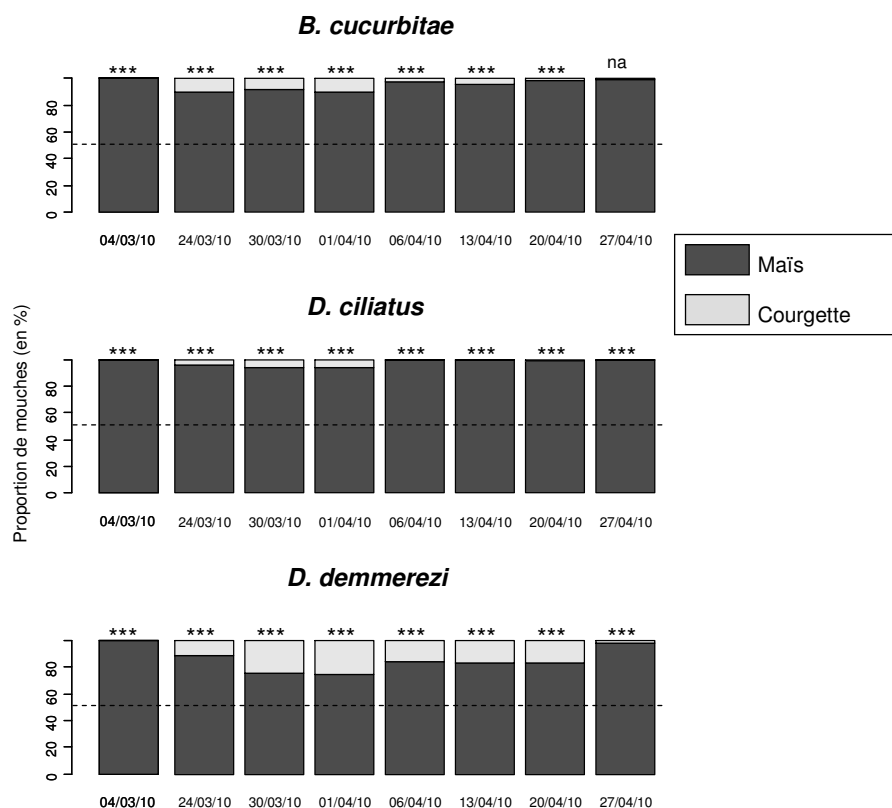
La période d'observation comprend 8 dates, entre le 4 mars et le 27 avril 2010. Le premier jour d'échantillonnage, le 4 mars, 1160 mouches ont été dénombrées pour 100m<sup>2</sup>. Jusqu'au 13 avril, les effectifs varient entre 500 et 1000 mouches observées / 100 m<sup>2</sup> / jour, tandis que le maïs est encore vert et que la courgette est en pleine fructification. On observe une augmentation des effectifs à partir du 20 avril (1967 mouches observées / 100 m<sup>2</sup>). Le 27 avril plus de 5000 mouches / 100 m<sup>2</sup> sont dénombrées. A cette période le maïs est sec et les fruits de courgettes deviennent rares.

La figure 6 illustre l'évolution saisonnière de l'abondance relative de chaque espèce de mouches des Cucurbitaceae au sein du peuplement. La proportion de chaque espèce au sein de la population totale est calculée à partir du nombre de mouches observées quotidiennement sur l'ensemble des deux répétitions (Annexe 5)

On constate que *B. cucurbitae* domine au sein du peuplement de mouches durant toute la période d'observation, avec des abondances relatives variant entre 55% (le 24 mars) et 78% (le 20 avril). L'abondance relative de *D. ciliatus* et *D. demmerezi* oscille autour de 20 %, avec cependant une



**Figure 7 :** Evolution saisonnière du sex-ratio, exprimé en pourcentage de femelles (nombre de femelles / nombre total de mouches) sur le maïs, à Tan Rouge de mars à mai 2010.



**Figure 8 :** Evolution saisonnière des proportions de mouches sur maïs et courgette, pour les trois espèces étudiées. La proportion d'individus sur le maïs  $P$  est testée par un test binomial exact ( $H_0 : P=0.5$  contre  $H_1 : P \neq 0.5$ ) ; na= non analysé en raison de faibles effectifs, ns= non significatif, \* = significatif, \*\*= hautement significatif, \*\*\*= très hautement significatif.

diminution de la proportion de *D. demmerezi* les 20 et 27 avril (8 % et 6% respectivement), correspondant à la hausse de l'abondance de *B. cucurbitae*.

### 3.1.2. Sex-ratio au sein du peuplement.

La figure 7 illustre l'évolution saisonnière du sex-ratio, exprimé en pourcentage moyen de femelles, à Tan Rouge, entre mars et avril 2010. Le pourcentage moyen de femelles pour chaque date correspond à la moyenne des 2 répétitions, des densités cumulées de femelles (pour 12 relevés) divisé par les densités cumulées de la population adulte totale.

Le sex-ratio varie entre 40% et 52%, avec une proportion moyenne de femelle de 47% ( $\pm 4\%$ ) sur l'ensemble du peuplement. Le sex-ratio de chaque espèce et les interactions possibles entre le sexe, la plante et les dates considérées sont analysées plus en détail dans la partie 3.2.2.

*La communauté de Mouches des Légumes présente à Tan Rouge, se caractérise par une densité d'environ 1000 mouches (pour 100m<sup>2</sup>) jusqu'au 13 avril, puis par une nette augmentation des effectifs en fin de période, alors que le maïs est vieillissant et sec et qu'il n'y a plus de fruits. Cette communauté est dominée par *B. cucurbitae*, avec des abondances relatives supérieures à 50% durant toute la période d'observation. Au sein de l'écosystème cultivé étudié, la proportion de mâles et de femelles sur le maïs est globalement équilibrée (47%  $\pm$  4%).*

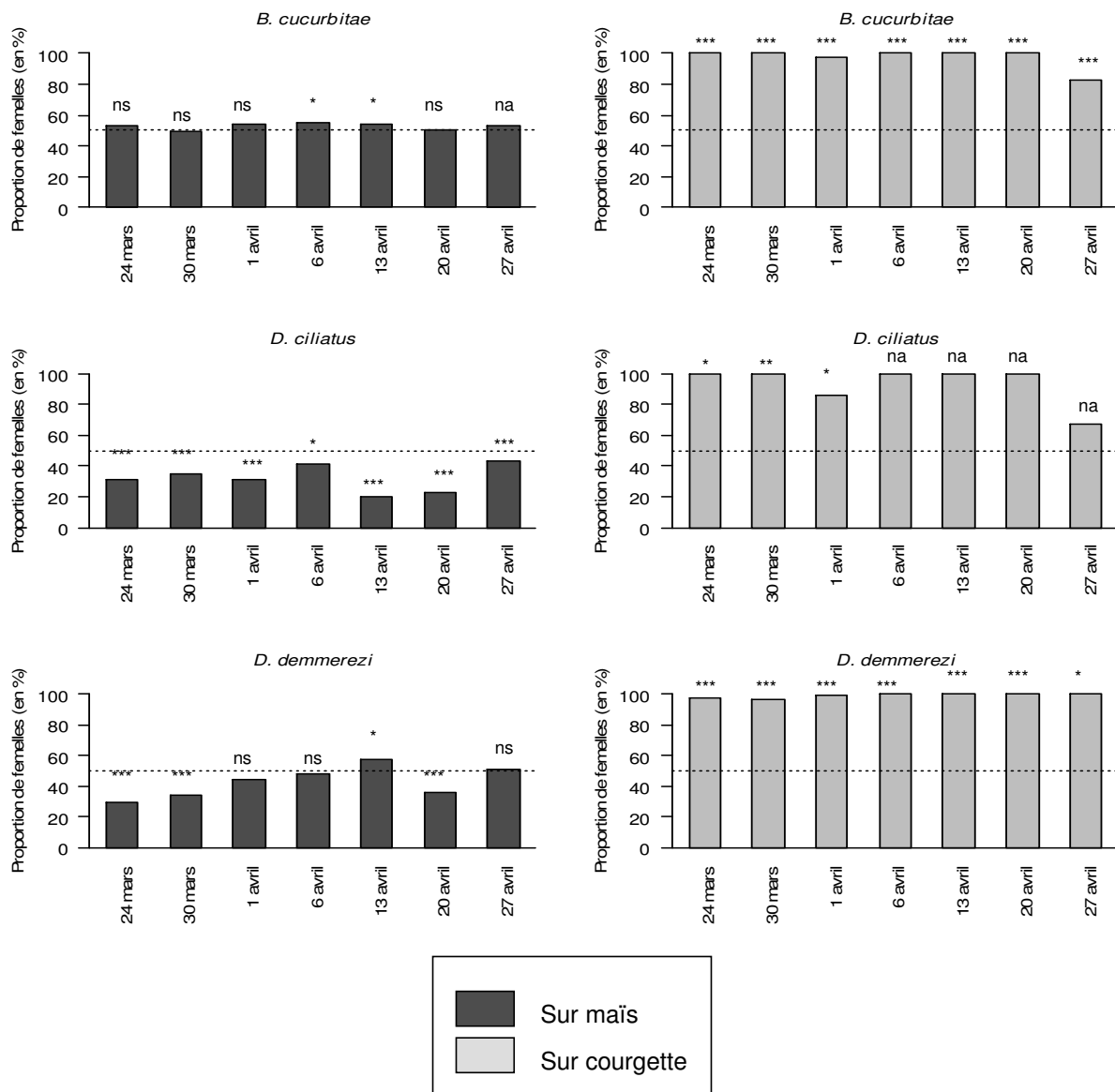
## 3.2. Répartition spatiale des mouches des Cucurbitaceae entre le maïs et la courgette.

### 3.2.1. Abondance relative des trois espèces sur maïs et courgette.

Aux différentes dates d'observation, une répartition spatiale inégale du peuplement entre le maïs et la culture de courgette est observée : les mouches sont presque entièrement présentes sur le maïs (99,2% de la population totale).

La figure 8 représente l'évolution des proportions quotidiennes de mouches (cumul de 12 relevés, sur 2 répétitions) sur la courgette et sur le maïs, pour chaque espèce, à Tan Rouge. Les résultats du test binomial permettant de mettre en évidence ou non cette répartition spatiale inégale sont également présentés.

L'effectif de chaque population sur le maïs est significativement supérieur à 50 % de l'effectif total, quelles que soient la date d'observation et l'espèce considérée. Cette proportion varie entre 90 % et 100 % pour *B. cucurbitae*, entre 93 % et 100 % pour *D. ciliatus*, et entre 74% et 100 % pour *D. demmerezi*.



**Figure 9 :** Evolution des sex-ratios (en pourcentage de femelles) selon la plante, pour les trois espèces étudiées. *Le sex-ratio P est testé par un test binomial exact ( $H_0 : P=0.5$  contre  $H_1 : P \neq 0.5$ ) : na=non analysé en raison de faibles effectifs, ns=non significatif, \*=significatif, \*\*=hautement significatif, \*\*\*=très hautement significatif.*

N.B. : *B. cucurbitae* domine le peuplement à 60%. Les effectifs de *B. cucurbitae* sur la courgette sont plus importants que ceux de *D. demmerezi*, malgré des proportions plus faibles.

### 3.2.2. Interaction « plante-sexe » pour chacune des espèces.

Les observations précédentes mettent en évidence des différences dans la répartition spatiale entre le maïs et la courgette. La figure 9 présente le sex-ratio (exprimé en pourcentage de femelles) par jour et pour les trois populations étudiées en distinguant le maïs de la courgette.

A Tan Rouge, sur le maïs, le sex-ratio est équilibré pour *B. cucurbitae* sauf les 6 et 13 avril où la proportion des femelles est significativement supérieure à celle des mâles. Pour la population de *D. ciliatus*, la proportion de mâles est supérieure à celle des femelles de manière hautement significative pour l'ensemble des dates d'observation. Et concernant *D. demmerezi*, le sex-ratio est soit équilibré (1 avril, 6 avril et 27 avril) soit très significatif à l'avantage des mâles (24 mars, 30 mars et 20 avril), ou à l'avantage des femelles (le 13/04). Cependant les effectifs de *D. ciliatus* et *D. demmerezi* étant beaucoup plus faibles que ceux de *B. cucurbitae* (les effectifs de *B. cucurbitae* représentent environ 60 % de la population totale), il n'est pas surprenant de constater que ces résultats influencent peu le sex-ratio de la population entière (cf. figure 7).

L'effet de la plante sur le sex-ratio est testée par un test de comparaison de pourcentages entre la proportion de femelles sur maïs et la proportion de femelles sur courgette. Celui-ci met en évidence le déséquilibre du sex-ratio entre le maïs et la courgette. Le pourcentage de femelles sur la courgette est très significativement supérieur au pourcentage de femelles sur le maïs, quelles que soient la date et l'espèce considérée. Il est important de noter que cette proportion atteint 100% pour de nombreuses dates. En effet, la totalité ou presque des mouches observées sur la culture de courgette sont des femelles se préparant à la ponte, en position de ponte, ou après la ponte.

*Le maïs accueille la majorité du peuplement : la plupart des adultes observés dans l'écosystème sont présents sur le maïs (99,2% (1) du peuplement total sur l'ensemble de la période d'observation). Le sex-ratio est globalement équilibrée sur le maïs, et significativement déséquilibré sur la courgette, seules les femelles se rendent sur la culture.*

### 3.3. Rythmes journaliers et activités

#### 3.3.1. Rythmes journaliers

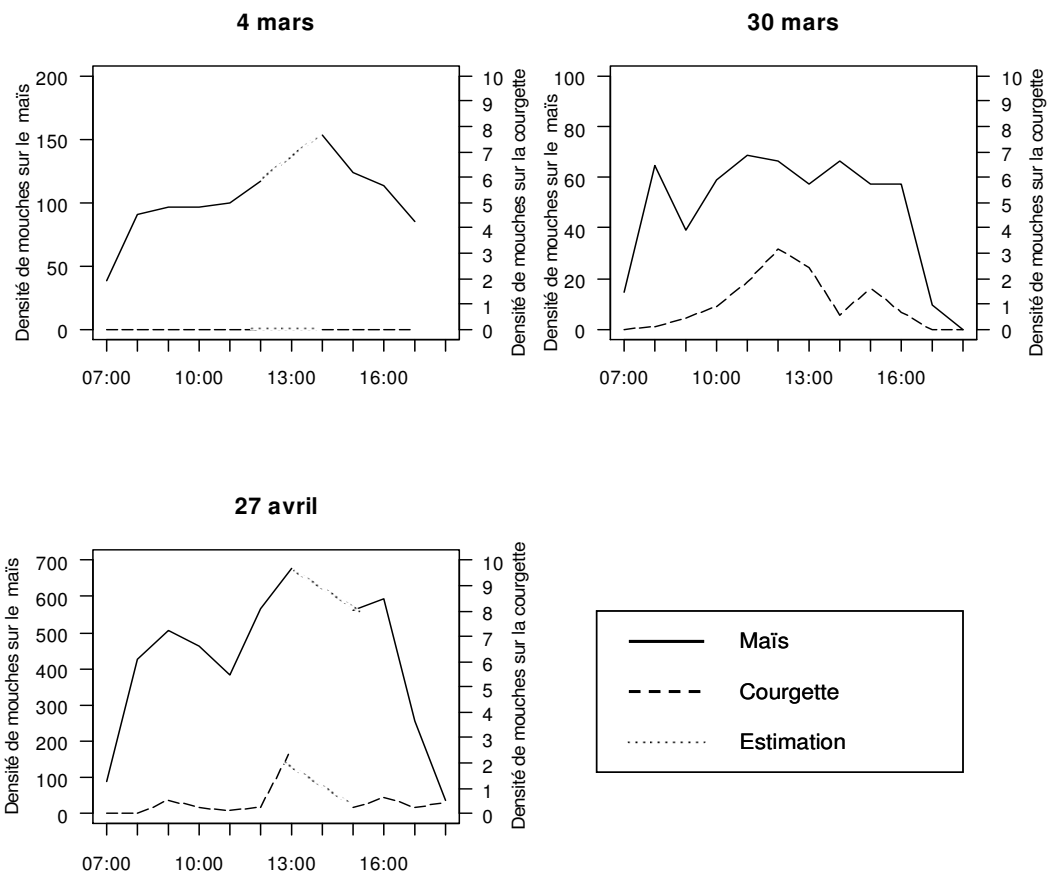
(1) Quelques proportions clés :

99,2 % des mouches observées sont sur le maïs.

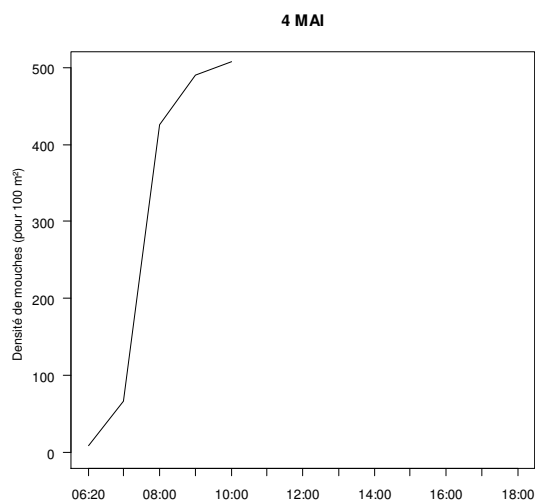
99,8 % des mouches observées sont au « repos » (cf. 3.3.2.1).

96 % des mouches observées sont au repos, le 1<sup>er</sup> avril (cf. 3.3.2.1)

100 % des mouches observées sur le maïs sont au « repos » (cf. 3.3.2.1).



**Figure 10** : Evolution journalière de la densité de mouches (pour 100m<sup>2</sup>) sur maïs et courgette (trois espèces confondues) à 3 dates particulières. Le 4 mars 2010 : maïs jeune (S1), absence de fruits de courgettes. Le 30 mars : maïs intermédiaire (S3), présence de fruits de courgettes. Le 27 avril : maïs sénescant (S4), pas de fruits.



**Figure 11** : Evolution de la densité de mouches observées sur le maïs, en début de journée, au lever du soleil (à 6h20, le 4 mai 2010) à Tan Rouge.

✓ Rythmes journaliers (effectifs globaux).

Au cours de la campagne d'échantillonnage, une variabilité journalière importante des effectifs est observée. La figure 10 présente pour trois dates, l'évolution journalière des densités des trois populations, sur le maïs et sur la culture de courgette. Seules trois observations sur huit (représentatives de ce qui est observé pour l'ensemble de la période d'observation) sont illustrées, à titre d'exemples. Les dates retenues, représentatives de l'ensemble des dates d'observations, correspondent à trois stades phénologiques différents : le 4 mars, le maïs est en phase végétative (stade S1) et les plants de courgette ne portent pas encore de fruits ; le 30 mars, le maïs est intermédiaire (stade S3) et il y a beaucoup de fruits de courgettes ; le 27 avril, le maïs est en phase de maturation (stade S4) et les plants de courgette sans fruits (cf. figure 5).

On constate, comme précédemment, que l'évolution journalière des effectifs du peuplement met en jeu des effectifs importants en particulier sur le maïs, les effectifs les plus importants étant observés le 27 avril, date où le maïs est vieillissant et sec (S4). Concernant la courgette, la plus forte densité est observée le 30 mars, où des fruits sont présents en grande quantité. Le 4 mars, lorsque la courgette n'a pas encore de fruits, il n'y a pas de mouches sur la culture et, le 27 avril, où il n'y a plus de fruits, on observe très peu de mouches.

Pour les 3 dates, la densité des mouches sur le maïs augmente brusquement le matin entre 7h et 8h, et diminue en fin de journée entre 16h et 18h. Un relevé effectué le 4 mai au lever du jour (à partir de 6h20) met en évidence cette augmentation soudaine du nombre de mouches (figure 11). Les mouches effectuent donc un mouvement vers le maïs tôt le matin et inversement, elles effectuent un mouvement à partir du maïs vers l'extérieur du système en fin de journée (figure 10). Pour le reste de la journée (entre 9h et 16h) les effectifs varient entre 90 et 160 mouches / 100 m<sup>2</sup> le 4 mars, entre 38 et 77 mouches / 100 m<sup>2</sup> le 30 mars et entre 380 et 680 mouches le 27 avril (avec un pic de présence à 13h).

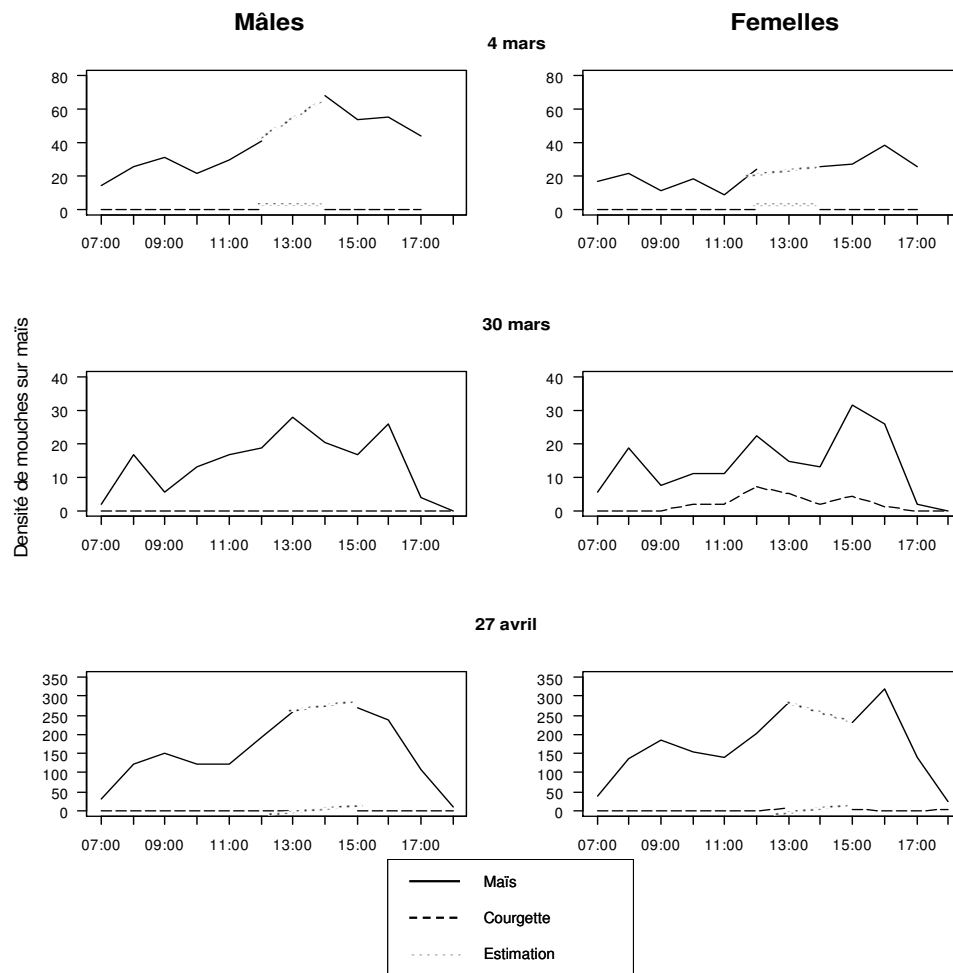
On remarque également que les mouches sont présentes sur la culture de courgette à certaines heures particulières de la journée.

✓ Rythmes journaliers par espèce et par sexe.

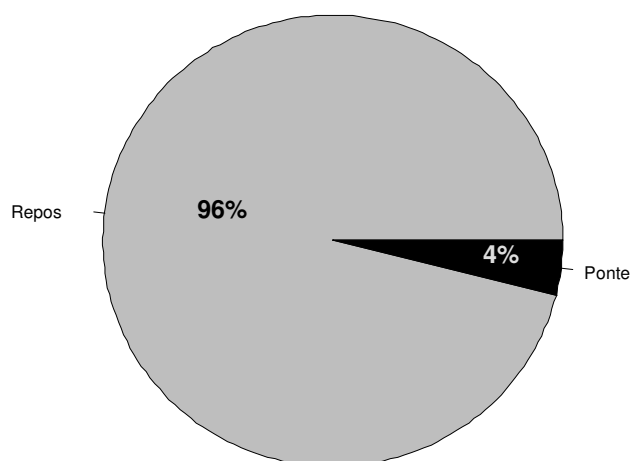
La figure 12 présente l'évolution journalière des densités de *B. cucurbitae* (pour 100m<sup>2</sup>) sur maïs et sur culture, en distinguant mâles et femelles. Les dates prises pour exemples sont celles citées dans le paragraphe ci-dessus.

Tandis que les mâles sont toujours absents de la culture, les femelles la fréquentent à certaines heures de la journée et seulement en présence de fruits. En effet, le 30 mars, alors qu'il y a des fruits, la densité sur la culture augmente à partir de 10h00 pour atteindre un maximum à 12h. Sur le maïs, les effectifs augmentent sensiblement en début de journée, entre 7h00 et 8h00, et diminuent en fin de





**Figure 12 :** Evolution journalière de la densité de *Bactrocera cucurbitae* (pour 100 m<sup>2</sup>) sur le maïs et la courgette, par sexe, et pour trois dates particulières. Le 4 mars 2010 : maïs jeune (S1), absence de fruits de courgettes. Le 30 mars : maïs intermédiaire (S3), présence de fruits de courgettes. Le 27 avril : maïs sénescant (S4), pas de fruits.



**Figure 13 :** Proportion de mouches au repos et en ponte, à Tan Rouge, le 1<sup>er</sup> avril 2010 (date où le nombre de pontes est le plus important, et donc le % de repos le plus faible ; cf. (1) p....).

journée à partir de 16h. Les effectifs sur maïs sont également plus importants entre 13h et 16h en général. Les mêmes tendances se retrouvent pour les évolutions journalières des densités de *D. ciliatus* et *D. demmerezii*, et sont présentées en Annexes 6 et 7.

### 3.3.2. Activités.

Tout d'abord, on s'intéresse au comportement de « repos » sur le maïs, qui est l'activité la plus fréquemment observée. Ensuite, on détaillera les caractéristiques des activités de ponte sur la courgette.

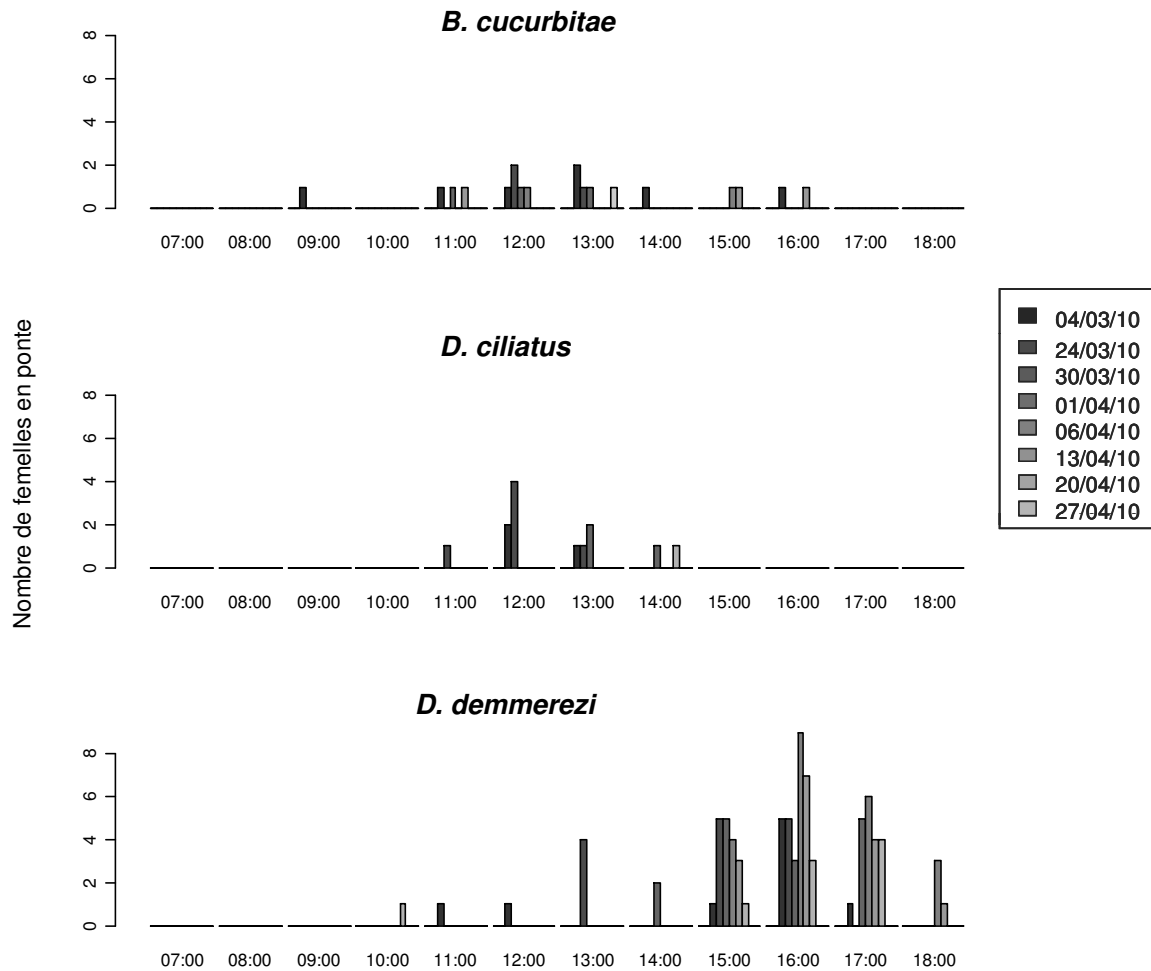
#### 3.3.2.1. Importance du comportement de « repos » sur le maïs

La figure 13 présente le pourcentage d'individus observés au repos à Tan Rouge, le 1<sup>er</sup> avril 2010. La date du 1<sup>er</sup> avril correspond au jour où le nombre de pontes est le plus important, et par conséquent le pourcentage de mouches au repos, le plus faible. A cette date, le pourcentage de mouches au repos est de 96% (calculée à partir du cumul des effectifs dénombrés à chaque heure, cf. Annexe 8), sur un total de 541 mouches observées (cf. (1) p10).

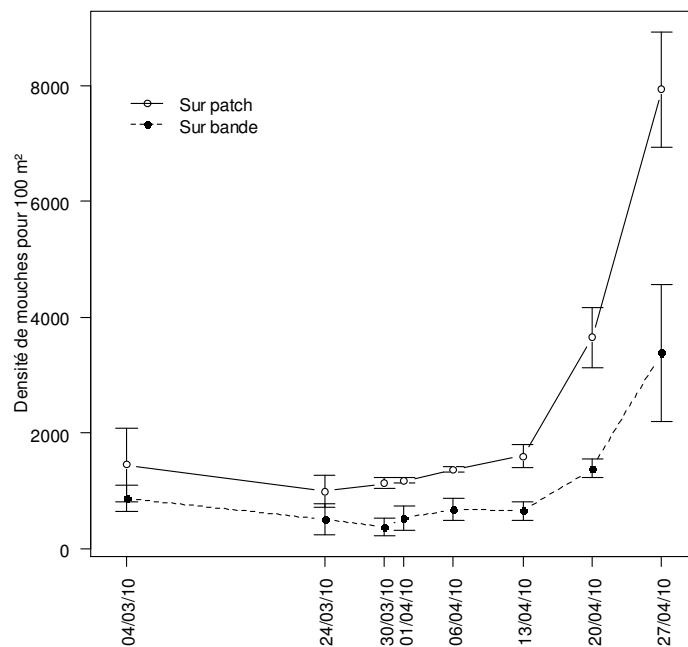
Si l'on considère le pourcentage de mouches au repos sur l'ensemble de la période d'observation, celui-ci s'élève à 99,8% (sur plus de 10.000 mouches). La totalité des mouches observées sur le maïs (soit 100%) étaient au repos. Au sein de la culture, la proportion de femelles au repos est nettement plus basse que sur le maïs (93% de femelles au repos pour *B. cucurbitae*, 65% pour *D. ciliatus* et 81% pour *D. demmerezii*). Le temps que passent les femelles au repos sur la culture peut être lié à l'activité de ponte. En effet, le laps de temps pour ponte est court et peu observé, par contre il n'est pas rare de voir les femelles sur la culture se préparant à pondre ou bien venant de pondre, ainsi les femelles observées au repos correspondent à des mouches en phases de pré- et post-ponte.

#### 3.3.2.2. Ponte sur la courgette.

La figure 14 présente le nombre de pontes recensées par heure, pour chaque espèce et chaque date d'observation, à Tan Rouge. Les femelles sont présentes sur la culture durant des tranches horaires spécifiques à chaque espèce. Ces périodes correspondent aux heures durant lesquelles le nombre de ponte est maximal. La fréquentation de la culture par les femelles peut donc être mise en relation avec une activité de ponte. Un nombre important de pontes de *D. demmerezii* est observé entre 15h00 et 18h00. Les pontes de *D. ciliatus* et de *B. cucurbitae* ont lieu plus tôt dans la journée et sont moins nombreuses que celles de *D. demmerezii*. Les pontes de femelles de *D. ciliatus* s'étalent de 11h à 14h. Pour *B. cucurbitae*, les pontes ont lieu tout au long de la journée, de 9h à 16h.



**Figure 14** : Nombre de femelles observées en ponte sur des fruits de courgette selon l'heure de la journée, à Tan Rouge.



**Figure 15** : Evolution saisonnière de la densité moyenne de mouches sur bandes et patches de maïs, à Tan Rouge, de mars à avril 2010.

*L'évolution journalière des effectifs de Mouches de Cucurbitaceae sur le maïs et la courgette présente certaines caractéristiques. Le maïs abrite la majorité du peuplement durant la journée. Les mouches s'y concentrent au lever du jour puis se dispersent à la tombée de la nuit. La fréquentation de la culture, lorsque celle-ci présente des fruits, est une caractéristique des femelles. Elles se rendent sur la culture à des tranches horaires spécifiques de chaque espèce. Les mouvements observés sont mis en relation avec un rythme journalier des activités. En effet, en journée, la totalité du peuplement sur le maïs est au repos. Cependant, lors de tranches horaires spécifiques, les femelles sont présentes sur la culture pour pondre. Les femelles de *D. demmerezi* fréquentent la culture en fin d'après-midi. Chez *B. cucurbitae* et *D. ciliatus*, les incursions de femelles sont moins concentrées et se situent en milieu de journée.*

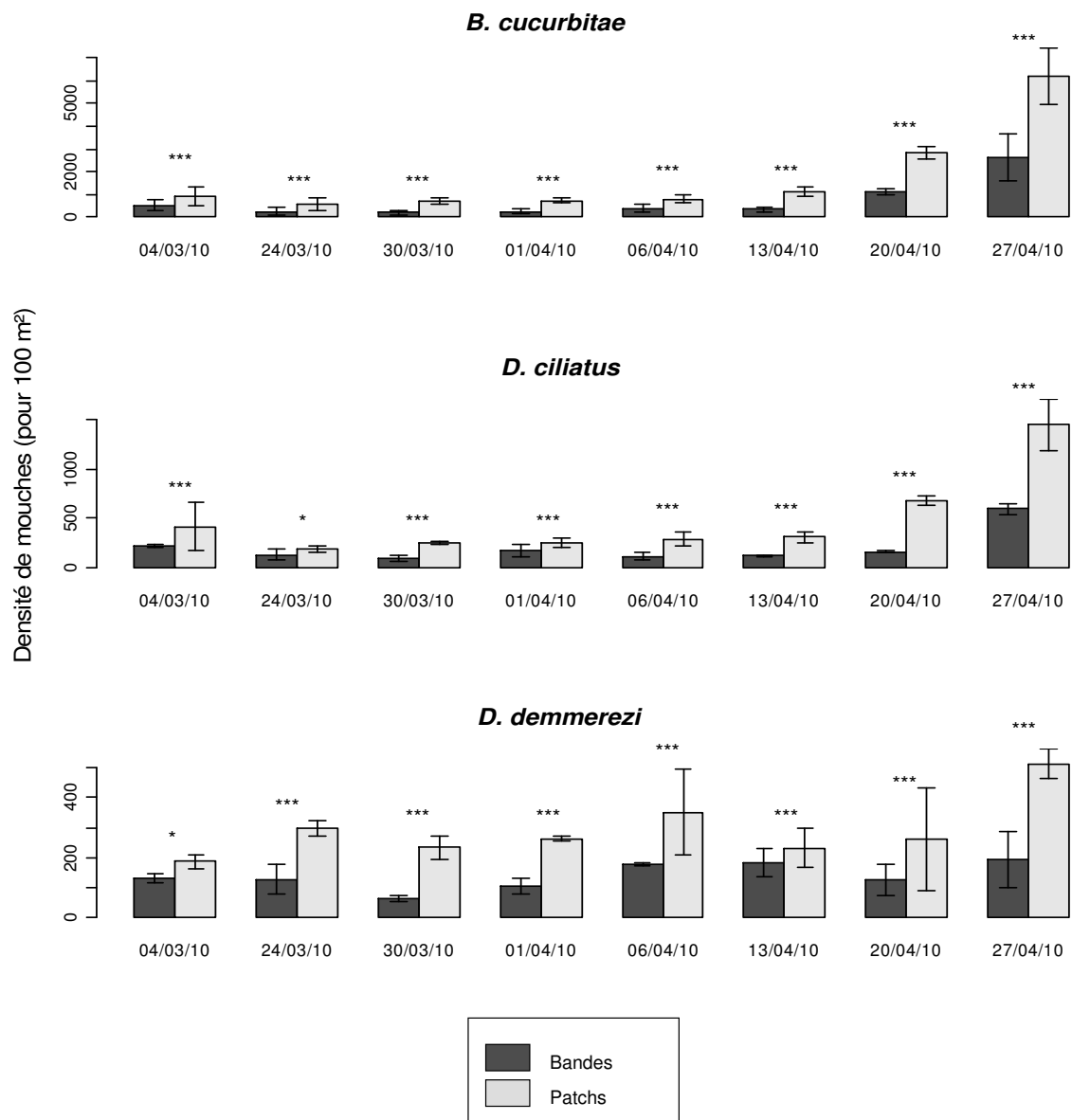
### **3.4. Comparaison des systèmes « courgette + bandes de maïs » et « courgette + patchs de maïs ».**

#### **3.4.1. Evolution des densités de mouches sur bandes et patchs de maïs.**

La figure 15 illustre l'évolution des densités moyennes de mouches sur bandes et patchs de maïs, à Tan Rouge, du 4 mars au 27 avril. Les densités sont calculées à partir du cumul de 12 relevés pour chaque date, chaque type d'insertion (bande ou patch) et chaque répétition.

Les caractéristiques décrites à la figure 5 se retrouvent ici, à savoir une augmentation de la densité des mouches en fin de saison. On constate que la densité de mouches sur les patchs de maïs est toujours supérieure à celle sur bandes de maïs quelle que soit la date considérée. Cette densité moyenne  $D$  est testée avec un modèle linéaire généralisé ( $H_0 : D(\text{bande}) = D(\text{patch})$  contre  $H_1 : D(\text{bande}) \neq D(\text{patch})$ , où  $D$  est la moyenne des densités des 2 répétitions et de l'ensemble des dates pour chaque type d'insertion). Le test montre que la densité moyenne de mouches sur patchs de maïs est significativement supérieure ( $p\text{-value} < 0,0001$ ) à celle des mouches sur bandes de maïs, avec en moyenne plus de 1300 mouches / 100 m<sup>2</sup> sur bandes de maïs et environ 2600 mouches / 100 m<sup>2</sup> sur patchs de maïs. L'annexe 9 récapitule les effectifs dénombrés quotidiennement.

Le même test est réalisé directement sur les effectifs moyens observés pour une bande ou un patch. Ici, la tendance s'inverse. Le test montre que le nombre moyen de mouches sur une bande est significativement supérieur au nombre de mouches sur un patch ( $p\text{-value} < 0,0001$ ). En effet, on observe en moyenne 68 mouches sur une bande et 26 mouches sur un patch.



**Figure 16** : Evolution des densités de mouches (pour 100 m<sup>2</sup>) pour les trois espèces et par modalité d'insertion du maïs (bandes ou patches). La densité D est testée avec un modèle linéaire généralisé (Ho : D (bande) = D (patch) contre H1 : D (bande) ≠ D (patch)) : ns=non significatif, \*=significatif, \*\*=hautement significatif, \*\*\*=très hautement significatif.

### 3.4.2. Comparaison des effectifs de mouches sur bande et patch pour chaque date d'observation.

La figure 16 illustre l'évolution des densités de mouches entre bandes et patches pour chacune des trois espèces étudiées. Les densités présentées pour chaque modalité d'insertion correspondent à la moyenne des effectifs des deux répétitions. Un modèle linéaire généralisé (glm) avec la fonction de lien log (distribution de Poisson) est utilisé. La significativité des effectifs est vérifiée par un test de rapport de vraisemblance basé sur le test du Chi<sup>2</sup>. En cas de différences significatives, un test de comparaison multiple est réalisé (Tukey).

Ces résultats montrent pour toutes les dates, des différences significatives entre les densités observées sur bandes et sur patches. En effet, pour les trois espèces et pour l'ensemble des dates d'observation la densité de mouches sur patches de maïs est significativement supérieure à la densité sur bandes de maïs.

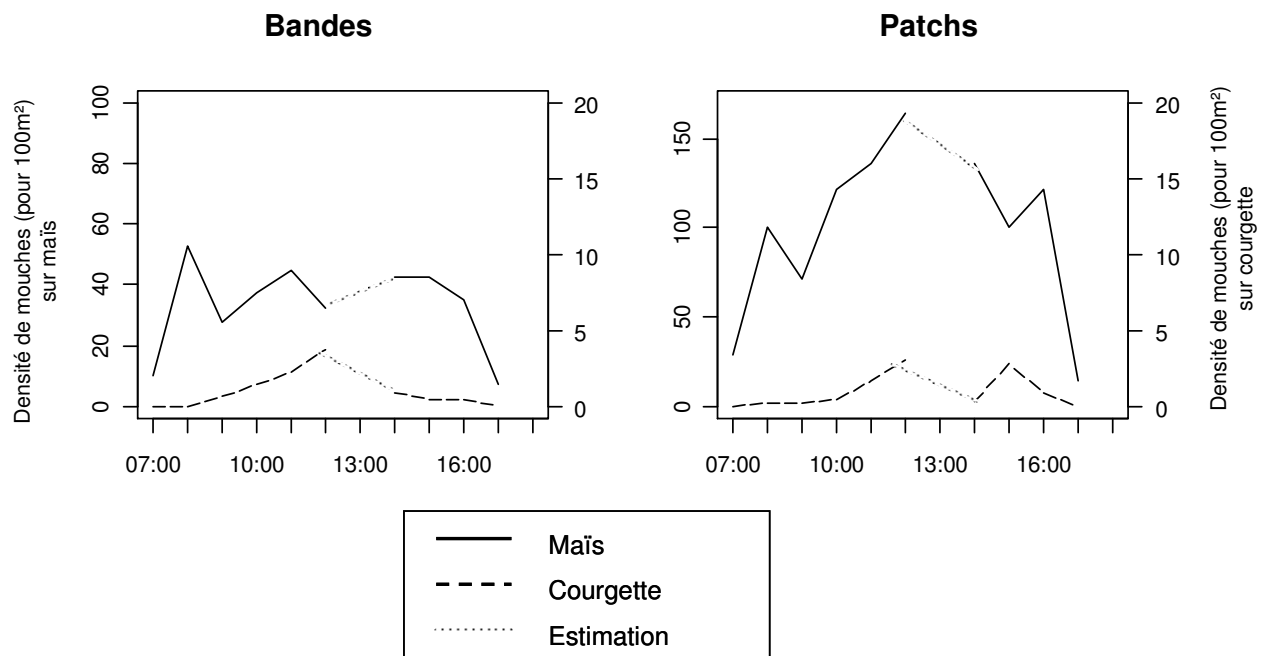
### 3.4.3. Evolution journalière des mouches sur bandes et patches.

La figure 17 illustre l'évolution journalière de la densité de mouches en distinguant les mouches présentes sur patches de maïs et sur bandes de maïs, à Tan Rouge, le 30 mars 2010. Une seule date sur huit, représentative de l'ensemble des situations, est illustrée à titre d'exemple.

Durant la journée, les effectifs sont variables, mais on constate tout de même un pic des effectifs à 12h sur patches de maïs. On remarque également une fréquentation de la culture de courgette par les mouches à des heures particulières de la journée.

Les densités sur patches de maïs sont supérieures à ceux sur bandes de maïs. En ce qui concerne la culture de courgette pour ces deux modalités d'insertion, les effectifs sont sensiblement égaux. On retrouve aussi les caractéristiques globales des évolutions journalières déjà mises en évidence, à savoir, une augmentation et une diminution des effectifs en début et fin de journée (de 7h à 8h, et de 16h à 18h).

*Le dispositif d'incorporation du maïs en forme de patch présente des densités de mouches (pour 100 m<sup>2</sup>) significativement supérieures aux densités de mouches présentes sur des bandes de maïs. Les adultes de mouches sont plus concentrés sur les patches de maïs quelles que soient la date et l'espèce de mouche. En revanche, une bande héberge plus de mouches qu'un patch.*



**Figure 17** : Evolution journalière de la densité de mouches (pour 100 m<sup>2</sup>) sur le maïs et la courgette, en distinguant les bandes des patchs de maïs.

## 4. DISCUSSION

---

La biodiversité est un facteur de stabilité des écosystèmes (Gurr *et al.* 2003 ; Johnson *et al.* 1996 ; Risch *et al.* 1983) : plus celle-ci est importante au sein d'un écosystème, plus les relations interspécifiques sont nombreuses et moins son fonctionnement est sensible aux invasions ou aux extinctions (Chaplin *et al.* 2000 ; Lévêque & Mounolou, 2001). La mise en place de plantes pièges constitue une voie d'incorporation de biodiversité végétale au sein des systèmes maraîchers (Lu *et al.* 2009 ; Bensen & Temple, 2008), et leur modalités d'insertion semble jouer un rôle dans le comportement des populations de ravageurs et donc dans leur gestion (Hannunen, 2005). Tout d'abord, nous discuterons des résultats concernant l'évolution des populations durant le période d'observation. Les rythmes journaliers et activités des mouches dans les systèmes constitués de bandes et de patchs de maïs seront ensuite abordés. Puis la discussion se portera sur l'efficacité du maïs comme plante refuge et sur le « design » de l'insertion de maïs. Les implications des résultats seront évoquées et des recommandations seront suggérées. Enfin, les principales limites des résultats vont être exposées et leurs portées discutées.

### ✓ Hypothèse d'une seconde génération de mouches en fin de période.

Nos résultats montrent une certaine stabilité des effectifs d'adultes de mouches présents sur le maïs durant une partie de la période d'observation (du 24 mars au 13 avril). Cependant, un effectif maximum est observé sur le maïs lorsque celui-ci est sec (stade phénologique S4) et que les fruits de courgettes sont absents (en décomposition). Les effectifs importants observés pourraient être liés à l'émergence d'une deuxième génération d'adultes de mouches issus des pontes de mars-avril. En effet, la durée de développement des mouches (de la ponte des œufs à l'émergence des adultes) varie entre 20 et 50 jours selon les espèces et les conditions (Orian & Moutia, 1960 ; Vargas *et al.* 1996) (Annexe 10), et pour *B. cucurbitae*, l'espèce majoritaire, entre 24 et 30 jours (Vargas *et al.* 1996). En considérant une période de ponte aux environs du 30 mars (date où un maximum de pontes a été observé), l'augmentation observée en fin de cycle correspondrait exactement à l'émergence des adultes issus de ces pontes.

Nous savons que le stade phénologique de la plante piège est un paramètre important pour son attractivité (Hokkanen, 1991 ; Bensen & Temple, 2008 ; MacQuate *et al.* 2003). Or, nos résultats divergent de ceux déjà obtenus sur le sujet et mériteraient d'être approfondies. Petite (2008) montre un niveau de population maximum lorsque le maïs est vert, MacQuate *et al.* (2003) observe une population maximum lors de la floraison du maïs et de la libération du pollen, tandis que nos résultats montrent un niveau maximum lorsque le maïs est vieillissant et sec (mais avec une





hypothèse Particulière liée à l'émergence d'une deuxième génération de mouches des Cucurbitaceae).

✓ Rythmes journaliers et activités.

Les effectifs recensés au sein des systèmes « courgette + bandes de maïs » et « courgette + patchs de maïs » montrent une variabilité journalière importante pouvant s'expliquer par les mouvements des adultes de mouches de Cucurbitaceae à l'intérieur et à l'extérieur du système. Deux types de mouvements peuvent être identifiés et mis en relation avec un rythme journalier des activités.

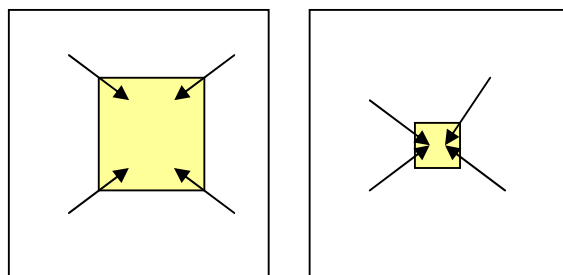
Le premier correspond, aux mouvements entre l'extérieur et l'intérieur des parcelles. La majorité du peuplement se retrouve au repos sur le maïs durant la journée. Le peuplement de mouches des Cucurbitaceae se concentre dans les systèmes étudiés au lever du jour et se disperse à l'extérieur en soirée, comme l'ont déjà montré les résultats des années précédentes sur bordure de maïs (Atiama, 2008) et les conclusions des travaux effectués à Hawaii de Nishida et Bess (1957) au sein de cultures de tomates, de concombre et de melon bordées de différentes plantes-pièges. Ces mouvements concernent les femelles comme les mâles, comme l'attestent les sex-ratios équilibrés des populations sur le maïs.

Le second mouvement journalier identifié ne concerne que les femelles. La faible fréquentation de la culture par les mâles adultes de *B. cucurbitae* a été mise en évidence par Nishida et Bess dès 1957. Les femelles effectuent des mouvements journaliers vers la culture de Cucurbitaceae, liés à leur activité de ponte. Les heures de pontes sont une caractéristique de chaque espèce : la tranche horaire durant laquelle les femelles de *D. demmerezi* pondent se situe en fin d'après-midi (15h-17h), alors que les pontes des femelles de *D. ciliatus* ont en général lieu en milieu de journée (12h-13h), comme celles de *B. cucurbitae* (11h-16h). Plusieurs études montrent l'existence de rythmes circadiens chez *B. cucurbitae* corrélés à des comportements (Miyatake, 1997 ; Nishida & Bess, 1957 ; Shimizu *et al.* 1997). Et les résultats concernant la spécificité des heures de ponte viennent confirmer d'autres études effectuées à La Réunion (Atiama, 2008 ; Vayssières, 1999).

✓ Le maïs comme plante refuge.

La totalité des mouches observées sur le maïs étaient au « repos ». Il est important de préciser que le terme « repos » est utilisé pour qualifier un ensemble de comportements qui englobent l'immobilité sans activité particulière, l'alimentation, les courts déplacements, etc. Ainsi, à l'intérieur des systèmes, les mouches préfèrent le maïs comme lieu de séjour au cours de la journée pour l'ensemble de ces activités.

Le maïs n'est pas la seule espèce utilisable en tant que plante-piège comme le confirment les expérimentations menées à Hawaii qui ont révélé une attractivité comparable à celle du maïs pour



**Figure 18** : schéma de la concentration des mouches sur deux surfaces de maïs différentes (à droite, pour 10m<sup>2</sup> de maïs (en jaune) ; à gauche pour 1 m<sup>2</sup> de maïs).

plusieurs végétaux tels que le ricin (*Ricinus communis*) ou le manioc (*Manihot esculenta*) (Mac Quate & Vargas, 2007).

Le maïs a indubitablement une attractivité marquée et est qualifiée de plante-piège : il est plus attractif que la culture principale et concentre la majorité des populations de mouches (Javaid & Joshi, 1995 ; Shelton & Badenes-Perez, 2005). Cependant, le maïs ne substitue pas la courgette en tant que site de ponte, mais seulement en tant que site refuge. L'intérêt des mouches des Cucurbitaceae pour le maïs pourrait être dû à l'abri qu'il représente et à la source alimentaire dont il dispose (nectar et pollen) (Nishida & Bess, 1957 ; Mc Quate *et al.* 2003 ; Mc Quate & Vargas, 2007).

Outre son rôle attractif pour les mouches des Cucurbitaceae, le maïs constitue également un lieu de séjour pour d'autres communautés d'insectes qui pourraient inclure des prédateurs et des parasitoïdes des mouches des Cucurbitaceae (Langer *et al.* 2007), notamment *Psytalia fletcheri*, principal parasitoïde de *B. cucurbitae* introduit à La Réunion en 1997, dans le cadre d'une lutte biologique (Quilici *et al.* 2004).

#### ✓ Design de la plante-piège.

En plus de l'attractivité de la plante-piège elle-même, l'efficacité de tout système composé de plantes-pièges dépend également de l'interaction entre le « schéma d'insertion » de la plante-piège et les déplacements régissant la population de ravageurs (Banks & Ekbow, 1999 ; Hannunen, 2005). Le « schéma d'insertion » de la plante-piège est à mettre en relation avec le terme anglais « physical design » de Hannunen (2005) désignant à la fois la forme, la taille et la proportion de l'incorporation de la plante-piège au sein du système.

Nos résultats montrent qu'une bande de maïs de 10 m<sup>2</sup> abrite en moyenne deux fois plus de mouches qu'un patch de 1,76 m<sup>2</sup>. Cependant lorsque ces effectifs sont rapportés à des densités pour 100m<sup>2</sup> de maïs, on constate que les patches concentrent significativement plus de mouches que les bandes. Le facteur qui expliquerait cette concentration finale est la taille (des bandes ou des patches) au sein de l'ensemble de l'écosystème. En effet, si on considère deux parcelles, avec chacune 100 mouches, l'une contenant de 10m<sup>2</sup> et l'autre d'1m<sup>2</sup> de maïs, et que 90% du peuplement est attiré par le maïs (Figure 18). Le maïs de la première parcelle concentre 9 mouches / m<sup>2</sup>, tandis que la seconde concentre 90 mouches / m<sup>2</sup>. Ainsi le paramètre expliquant le mieux nos résultats est plutôt la taille que la forme de la culture piège.

La principale référence à ce sujet est Hannunen (2005). Par le biais de modélisations, l'auteur met en évidence l'influence de la forme et de la taille de la culture, et de la plante-piège sur les populations de ravageurs : l'auteur démontre par une modélisation analysant la distribution des ravageurs se déplaçant selon un modèle simple aléatoire, que le niveau de population des ravageurs sur la culture



diminue avec l'augmentation de la surface de la culture piège (montrant l'intérêt d'utiliser des plantes pièges attractives).

Ces modélisations suggèrent également que maximiser le ratio périmètre / surface, des cultures peut être utile. Le ratio périmètre / surface peut être augmenté en diminuant la taille des cultures ou en augmentant leurs périmètres (par exemple en utilisant de longues bandes étroites de culture au lieu de surface carrées) (figure).

Hannunen (2005) met également en évidence une corrélation entre la taille de la culture, la vitesse de déplacement du ravageur et le niveau de la population : pour des ravageurs ayant une faible motilité l'auteur observe une diminution du pourcentage de ravageurs sur la culture, lorsque des bandes étroites de culture sont utilisées. Et pour les ravageurs à forte motilité, l'auteur constate une diminution de la proportion de ces ravageurs dans la culture, lorsque des bandes larges sont utilisées. Kareiva (1983) rapporte des motilités d'insectes herbivores allant de 0,19m<sup>2</sup>/ jour à 10000 m<sup>2</sup> / jour, ce qui souligne l'importance d'étudier les déplacements des ravageurs en sein de systèmes « culture + plante-piège ». Cependant, les modélisations de Hannunen (2005) sont simples, et ne tiennent pas compte de la reproduction des ravageurs, des changements phénologiques des plantes et physiologiques des ravageurs, des comportements particuliers, etc. De plus, les déplacements des ravageurs sont traduits par une simple diffusion et ignorent l'attraction des ravageurs pour la plante-piège.

Aucune modélisation existante sur les plantes pièges n'a été testée sur des expérimentations en plein champ (Banks & Ekbom, 1999 ; Åsman, 2001 ; Hannunen, 2005), principalement en raison de l'ampleur des expérimentations coûteuses et laborieuses. Le manque de littérature à ce sujet rend toute conclusion difficile. Cependant, de manière générale Hannunen (2005) montre, par le biais d'une modélisation, l'influence de la taille de la culture piège sur les populations de ravageurs.

#### ✓ Implications et recommandations.

Ainsi, l'ensemble des résultats confirme que le maïs est susceptible de constituer un lieu privilégié pour la surveillance et la gestion des populations de mouches. Les résultats obtenus viennent appuyer les études réalisées dans le cadre du projet GAMOUR, ayant pour objectif de développer un ensemble de techniques de gestion agroécologique des mouches des Cucurbitaceae au sein des écosystèmes maraichers de La Réunion (Annexe 11). De plus, les plantes-pièges constituent un des éléments du « Push-pull assisté » (Cook *et al.* 2007) : en concentrant le peuplement de mouches des Cucurbitaceae sur le maïs, les dispositifs destinés ensuite à éliminer ce peuplement peuvent être optimisés (Pyke *et al.* 1987). Dans cette optique, le projet GAMOUR prévoit l'utilisation d'un insecticide naturel produit par une bactérie, le Spinosad, couplé à un attractif alimentaire, en pulvérisation par tâches sur le maïs. Cette technique, en expérimentation à La Réunion, a déjà montré son efficacité à Hawaï, sur la mouche du melon (Prokopy *et al.* 2004).



Les résultats montrent également l'efficacité de l'attractivité du maïs quel que soit le dispositif d'insertion utilisé (bandes ou patches). Ceci dit, une incorporation de maïs en forme de patches ne peut pas s'adapter facilement à toutes les pratiques culturales. Pour les exploitations mécanisées, les dispositifs en forme de bandes semblent plus appropriés que les dispositifs en forme de patches.

✓ Limites et portées des résultats.

Le grand nombre d'observations et d'individus observés (plus de 7000) rendent les résultats clairs et contribuent à compenser certaines limites expérimentales. Ces résultats concordent avec d'autres études faites sur le sujet (Atiama, 2008 ; Petite, 2009) et contribuent également à apporter des éléments nouveaux (sur la taille et la forme des cultures pièges ; sur l'apparition d'une deuxième génération d'adultes issus des premières pontes).

Une première limite de l'étude est qu'elle n'est mise en place que sur un seul site. Un second site était initialement prévu à Bois de Nèfles Saint Paul (bandes et patches de maïs plantés à l'intérieur de deux parcelles de citrouille), cependant les difficultés rencontrées (mise en place des cultures, conditions climatiques) ont rendu ce site inutilisable pour une étude fiable.

Par ailleurs, la difficulté d'avoir plusieurs répétitions au sein d'un même site est liée à plusieurs contraintes :

- contraintes entomologiques liées aux déplacements des mouches adultes.
- contraintes culturales : la mise en place de telles modalités d'insertion de plantes pièges, à grande échelle et à des fins expérimentales par des agriculteurs, est très compliquée : aucun producteur de courgette n'a la surface nécessaire pour abriter un dispositif avec de nombreuses répétitions et aucun n'est prêt à se grouper avec d'autres pour réaliser un essai sur le sujet.
- contraintes phytosanitaires : pour étudier les mécanismes d'interaction entre les mouches et les plantes, il est indispensable que les parcelles ne soient pas protégées chimiquement, pour étudier les mécanismes des interactions entre les mouches et les plantes. Peu d'agriculteurs sont prêts à accepter de placer des surfaces importantes de culture sans traitement.
- variabilité pédoclimatique : pour la prendre en compte, il conviendrait d'effectuer des essais répétés dans différents lieux (répétitions), ce qui représente une charge de travail très lourde, avec des risques d'échec non négligeables (il faut en effet réunir les conditions suivantes en même temps, ce qui est aléatoire : cultures de maïs et de Cucurbitacées, populations de mouches).

Une comparaison de 3 types d'insertion du maïs a été initialement envisagée : bordures, bandes intra-parcelle, patches intra-parcelle et une parcelle témoin totalement dépourvue de maïs, mais les contraintes citées ci-dessus n'ont pas permis une telle comparaison.





Enfin, la lourdeur des observations : dénombrements des mouches présentes sur un total de 54 m<sup>2</sup> de maïs et 880m<sup>2</sup> de courgette en une heure, nécessite la participation de plusieurs personnes. En général 4 personnes dénombraient les mouches sur le site simultanément, ce qui pouvait induire, malgré des critères d'observation précis, un biais dû aux différents observateurs.



## 5. CONCLUSION

---

La capacité du maïs à attirer les adultes de mouches des Cucurbitaceae est confirmée sur les systèmes de type « courgette + bandes de maïs » et « courgette + patchs de maïs ». En effet, les caractéristiques des interactions entre plante-piège et mouches des légumes, observés pour le dispositif avec du maïs en bordure se vérifient également sur ces deux systèmes. Les populations d'adultes de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi* fréquentent préférentiellement le maïs durant la journée et y ont des activités apparentées au « repos », c'est pourquoi l'attractivité du maïs semble surtout liée à l'abri qu'il procure en terme de température et d'humidité. La culture n'est fréquentée que par les femelles qui effectuent des mouvements journaliers pour aller pondre dans les fruits, ceci durant des tranches horaires caractéristiques de chaque espèce. L'originalité de notre étude provient de la comparaison entre deux dispositifs d'insertion du maïs, qui montre une concentration de mouches accrue sur les patchs de maïs (même s'il est envisageable d'utiliser des bandes). Les connaissances concernant le schéma d'insertion du maïs (bordure, bande, patch) sont maintenant acquises même si certains paramètres mériteraient d'être étudiés plus en détail, comme la taille minimale de l'insertion de maïs pour une attractivité maximale, ou encore les vitesses de déplacements de chaque espèce.

Par ailleurs, d'autres thèmes d'études nécessiteraient d'être abordés :

- l'étude des autres communautés d'insectes présentes sur le maïs : le maïs semble être également un lieu de séjour pour de nombreuses espèces d'insectes (notamment des Diptères). Il est donc pertinent d'étudier l'impact de l'incorporation du maïs sur ces insectes (parasitoïdes, prédateurs, ou pollinisateurs, etc.) au préalable à l'utilisation de l'insecticide biologique.
- l'influence de l'âge du maïs sur le peuplement des mouches mériterait d'être précisée, les résultats obtenus cette année et les autres années montrant certaines divergences.
- l'influence d'autres facteurs, pouvant agir sur l'attractivité du maïs, tels que l'environnement floristique ou encore la densité du maïs, devraient être précisée.
- les facteurs influençant l'arrivée et la dispersion des mouches au sein du système (à l'aube et au crépuscule) ainsi que leur activité nocturne.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

Agreste Réunion. (2009). Mémento statistique agricole, La Réunion (résultats 2008). Direction de l'agriculture et de la forêt de la Réunion.

[http://www.daf974.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/MEMENTO\\_2009\\_cle03fece.pdf](http://www.daf974.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/MEMENTO_2009_cle03fece.pdf). Page consultée le 20/01/2010.

Andrea, M.M., Peres, T.B., Luchini, L.C. and Pettinelli Junior, A. (2000). Impact of long-term pesticide application on some soil biological parameters. *Journal of Environmental Science and Health* 35: 297-307.

Arita, L. H. and Kaneshiro, K.Y. (1985). The dynamics of the lek system and mating success in males of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* (Wiedemann). *Proc. Hawaii. Entomol. Soc.* 25: 39-48.

Åsman, K. (2001) Vegetational diversity as a strategy for reducing pest oviposition in field vegetables. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 301: 1–32.

Atiama, T. (2008). Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae et les plantes de bordures dans les systèmes horticoles à La Réunion. Mémoire de fin d'études. Master Biodiversité des EcoSystèmes Tropicaux. Université de La Réunion / CIRAD.

Banks, J. and Ekbom, B. (1999). Modelling herbivore movement and colonization: pest management potential of intercropping and trap cropping. *Agricultural and Forest Entomology* 1: 165-170.

Bensen, T.A. and Temple, S.R. (2008). Trap cropping, planting date, and cowpea variety as potential elements of an integrated pest management strategy for *Lygus hesperus* in blackeyed cowpea. *Crop Protection* 27: 1343-1353.

Chapin, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C. and Diaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405 : 234 - 242.

Cook, S.M., Khan, Z.R. and Pickett, J.A. (2007). The use of Push-Pull in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology* 52 : 375-400.



- Deguine, J.P., Ferron, P. et Russell, D. (2008). Protection des cultures: de l'agrochimie à l'agroécologie, concepts et pratiques, application au cotonnier. Editions QUAE.
- Dhillon, M.K., Singh, R., Naresh, J.S., Sharma, H.C. (2005). The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae* : a review of its biology and management. *Journal of Insect Science* 5 : 16-23.
- Duyck, P.F, David, P. and Quilici, S. (2004). A review of relationships between interspecific competition and invasions in fruit flies (Diptera : Tephritidae). *Ecological entomology* 29: 511-520.
- Etienne, J. (1982). Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritidae de la Réunion. Thèse de doctorat, Ecole Pratique Hautes Etudes, Paris.
- Gurr, G.M., Wratten, S.D., Altieri, M.A. (2004). Ecological engineering for enhanced pest management: towards a rigorous science. In: Ecological engineering for Pest Management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. Gurr G.M., Wratten S.D., and Altieri M.A (eds), CSIRO and CABI Publishings, Collingwood, VIC, Australia, and Wallingford, Oxon, UK.
- Hannunen, S. (2005). Modelling the interplay between pest movement and the physical design of trap crop systems. *Agricultural and Forest Entomology* 7: 11-20.
- Hokkanen, H.M.T. (1991). Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 36: 119-138.
- Javaid, I. and Joshi, J.M. (1995). Trap cropping in insect pest management. *Journal of Sustainable Agriculture* 5: 117-136.
- Johnson, K.G., Vogt, K.A., Clark, H.J., Schmitz, O.J. and Vogt, D.J. (1996). Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 372-377.
- Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Longeluddcke, P., Stauss, R., Van Den Boom, T., Weber, E. and Witzengerber, A. (1991). An uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119: 561-601.
- Langer, V., Kiname, J. and Lyngkjaer, M. (2007). Intercropping for pest management: the ecological concept. *Ecologically based integrated pest management* 5 : 74-110.





- Lévêque, C. et Mounoulou, J.C. (2001). Biodiversité, dynamique biologique et conservation, DUNOD, Paris.
- Lu, Y.H., Wu, K.M., Wyckhuys, K.A.G. and Guo, Y.Y. (2009). Potential of mungbean, *Vigna radiatus* as a trap crop for managing *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton. *Crop protection* 28: 77-81.
- Mac Quate, G.T., Gretchen, D.J. and Chairmaine, D.S. (2003). Assessment of Corn Pollen as a food source for two Tephritid fruit fly species. *Environnemental Entomology* 32: 141-150.
- Mac Quate, G.T. and Vargas, R.I. (2007). Assessment of attractiveness of plants as roosting sites for the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, and oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Insect Science*, 7: 57-70.
- Maher, A. (1957). On the bionomics of *Dacus ciliatus* Loew (Diptera, Trypanaeidae). *Bulletin of the Entomological Society of Egypt* 41: 527-533.
- Miyatake, T. (1997) Correlated responses to selection for developmental period in *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): time of mating and daily activity rhythms. *Behaviour Genetics* 27:489–498.
- Multigner, L. (2005). Effets retardés des pesticides sur la santé humaine. *Environnement, Risques & Santé* 3: 187-194.
- Nicholls, C.I. and Altieri, M.A. (2004). Agroecological bases of ecological engineering for pest management, in: Gurr GM, Wratten SD, Altieri MA. Ecological Engineering for Pest Management. Advances in habitat manipulation for arthropods.
- Nishida, T. and Bess, H.A. (1957). Studies on the ecology and control of the melon fly *Dacus* (Strumeta) *cucurbitae* Coquillett (Diptera Tephritidae). Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin n°84.
- Orian, A.J.E. and Moutia, L.A. (1960). Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius. *Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice* 39: 142-150.
- Petite, A. (2009). Interactions entre les Mouches des Cucurbitaceae (Diptera, Tephritidae) et les plantes-pièges incorporées dans les agro-écosystèmes horticoles réunionnais. Mémoire de fin d'études. Master Gestion des Habitats et des Bassins Versants. Université de Rennes 1 / CIRAD.



Prokopy, R.J., Miller, N.W., Pinero, J.C., Orde, L., Chaney, N., Revis, H. and Vargas, R. (2004). How effective is GF-120 fruit fly bait spray applied to border area sorghum plants control of melon flies (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist* 87: 354-360.

Pyke, B., Rice, M., Sabine, B. and Zalucki, M.P. (1987). The push-pull strategy-behavioral control of *Heliothis*. *Australian Cotton Grower* 1: 7-79.

Quilici, S. et Jeuffrault, E. (2001). Plantes-hôtes des mouches des fruits : Maurice, Réunion, Seychelles. Impression Graphica, St André, La Réunion.

Quilici, S., Hurtrel, B., Messing, R.H., Montagneux, B., Barbet, A., Gourdon, F., Malvotti, A. and Simon, A. (2004). Successful acclimatization of *Psytalia fletcheri* (Braconidae : Opiinae) for biological control of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera : Tephritidae), on Reunion Island. In : Barnes Brian N. (ed.). Proceedings of the 6th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance.

Risch, S.J., Andow, D. and Altieri, M.A. (1983). Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environmental Entomology* 12:625-629.

Roessler, Y. (1989). Insecticidal Bait and cover sprays. *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Robinson A.S and Hopper G eds., Elsevier, Amsterdam.

Ryckewaert, P., Deguine, J.P., Brévault, T. and Vayssières, J.F. (2010). Fruit flies (Diptera: Tephritidae) on vegetable crops in Reunion Island: state of knowledge, control methods and prospects for management. *Fruits* 2010, 65: 113-130.

Shelton, A.M. and Badenes-Perez, F.R. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 51: 285 – 308.

Shimizu, T., Miyatake, T., Watari, Y. and Arai, T. (1997). A gene pleiotropically controlling developmental and circadian periods in the melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Heredity* 79: 600 - 605.

Smith, H.A. and McSorley, R. (2000). Intercropping and pest management: a review of major concepts. *American Society of Entomology* 46: 154-161.



Vargas, R.I., Walsh, W.A., Jang, E.B., Armstrong, J.W. and Kanehisa, D.T. (1996). Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) at five constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America* 89: 64–69.

Vayssières, J.F. (1999). Les relations plantes-insectes chez les Dacini (Diptera-Tephritidae) ravageurs des Cucurbitacées à La Réunion. Thèse de doctorat, Muséum National d'Histoire Naturel de Paris.

Weber, E., und Bleiholder, H. (1990) Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse - mit Abbildungen. *Gesunde Pflazen* 42: 308-321.

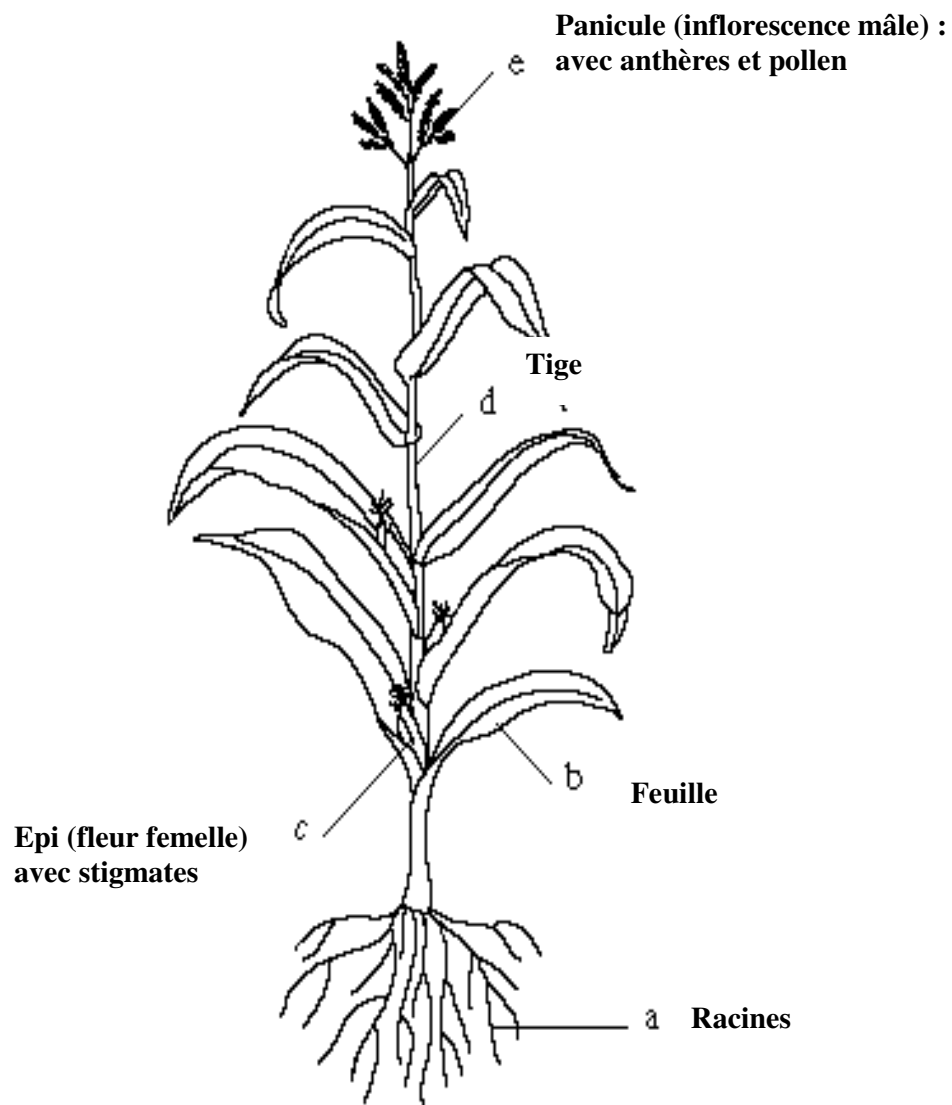








**Annexe 3 :** Morphologie d'un plant de maïs.





**Annexe 4 :** Données des effectifs horaires de Mouches des légumes, sur maïs et sur courgette, durant les différentes journées de terrain à Tan Rouge, avant et après estimation des effectifs manquants par interpolation linéaire.

#### Sur le maïs

|              | 7h | 8h  | 9h  | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h |
|--------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 04/03/10     | 21 | 49  | 52  | 52  | 54  | 63  | NA  | 83  | 67  | 61  | 46  | NA  |
| (a) 10/03/10 | 18 | 50  | 92  | 83  | 92  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |
| 24/03/10     | NA | 31  | 25  | 41  | 42  | 35  | 39  | 39  | 36  | 35  | 15  | 1   |
| 30/03/10     | 8  | 35  | 21  | 32  | 37  | 36  | 31  | 36  | 31  | 31  | 5   | 0   |
| 01/04/10     | 4  | 40  | 33  | 29  | 27  | 22  | 42  | 56  | 47  | 45  | 24  | 4   |
| 06/04/10     | 6  | 20  | 25  | NA  | 45  | 72  | NA  | 92  | 71  | 63  | 49  | 17  |
| 13/04/10     | 5  | 46  | 46  | 56  | 69  | NA  | 89  | 72  | 42  | 44  | 11  | 2   |
| 20/04/10     | 21 | 83  | 111 | 88  | 60  | 58  | 70  | 147 | 158 | 154 | 79  | 34  |
| 27/04/10     | 47 | 230 | 273 | 250 | 207 | 305 | 366 | NA  | 304 | 322 | 138 | 19  |
| (a) 04/05/10 | 36 | 230 | 265 | 274 | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |

|          | 7h | 8h  | 9h  | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h  | 15h | 16h | 17h | 18h |
|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 04/03/10 | 21 | 49  | 52  | 52  | 54  | 63  | 68* | 83   | 67  | 61  | 46  | 11* |
| 24/03/10 | 6* | 31  | 25  | 41  | 42  | 35  | 39  | 39   | 36  | 35  | 15  | 1   |
| 30/03/10 | 8  | 35  | 21  | 32  | 37  | 36  | 31  | 36   | 31  | 31  | 5   | 0   |
| 01/04/10 | 4  | 40  | 33  | 29  | 27  | 22  | 42  | 56   | 47  | 45  | 24  | 4   |
| 06/04/10 | 6  | 20  | 25  | 19* | 45  | 72  | 51* | 92   | 71  | 63  | 49  | 17  |
| 13/04/10 | 5  | 46  | 46  | 56  | 69  | 87* | 89  | 72   | 42  | 44  | 11  | 2   |
| 20/04/10 | 21 | 83  | 111 | 88  | 60  | 58  | 70  | 147  | 158 | 154 | 79  | 34  |
| 27/04/10 | 47 | 230 | 273 | 250 | 207 | 305 | 366 | 293* | 304 | 322 | 138 | 19  |

\* données estimées

(a) dates retirées en raison d'un trop grand nombre de valeurs manquantes.

#### Sur courgette

|              | 7h | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h |
|--------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 04/03/10     | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | NA  | 0   | 0   | 0   | 0   | NA  |
| (a) 10/03/10 | 0  | 1  | 0  | 1   | 0   | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |
| 24/03/10     | NA | 0  | 4  | 7   | 8   | 8   | 10  | 13  | 15  | 13  | 4   | 0   |
| 30/03/10     | 0  | 1  | 4  | 8   | 17  | 29  | 22  | 5   | 15  | 6   | 0   | 0   |
| 01/04/10     | 0  | 10 | 6  | 4   | 9   | 10  | 21  | 17  | 33  | 27  | 29  | 2   |
| 06/04/10     | 0  | 0  | 2  | NA  | 5   | 10  | NA  | 1   | 24  | 38  | 16  | 5   |
| 13/04/10     | 0  | 0  | 3  | 12  | 11  | NA  | 4   | 6   | 27  | 44  | 11  | 3   |
| 20/04/10     | 0  | 0  | 0  | 2   | 2   | 2   | 3   | 6   | 41  | 34  | 29  | 3   |
| 27/04/10     | 0  | 0  | 5  | 2   | 1   | 2   | 23  | NA  | 2   | 6   | 2   | 4   |
| (a) 04/05/10 | NA | NA | NA | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  | NA  |

|          | 7h | 8h | 9h | 10h | 11h | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h |
|----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 04/03/10 | 0  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0*  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0*  |
| 24/03/10 | 0* | 0  | 4  | 7   | 8   | 8   | 10  | 13  | 15  | 13  | 4   | 0   |
| 30/03/10 | 0  | 1  | 4  | 8   | 17  | 29  | 22  | 5   | 15  | 6   | 0   | 0   |
| 01/04/10 | 0  | 10 | 6  | 4   | 9   | 10  | 21  | 17  | 33  | 27  | 29  | 2   |
| 06/04/10 | 0  | 0  | 2  | 3*  | 5   | 10  | 4*  | 1   | 24  | 38  | 16  | 5   |
| 13/04/10 | 0  | 0  | 3  | 12  | 11  | 17* | 4   | 6   | 27  | 44  | 11  | 3   |
| 20/04/10 | 0  | 0  | 0  | 2   | 2   | 2   | 3   | 6   | 41  | 34  | 29  | 3   |
| 27/04/10 | 0  | 0  | 5  | 2   | 1   | 2   | 23  | 14* | 2   | 6   | 2   | 4   |

\* données estimées

(a) dates retirées en raison d'un trop grand nombre de valeurs manquantes.

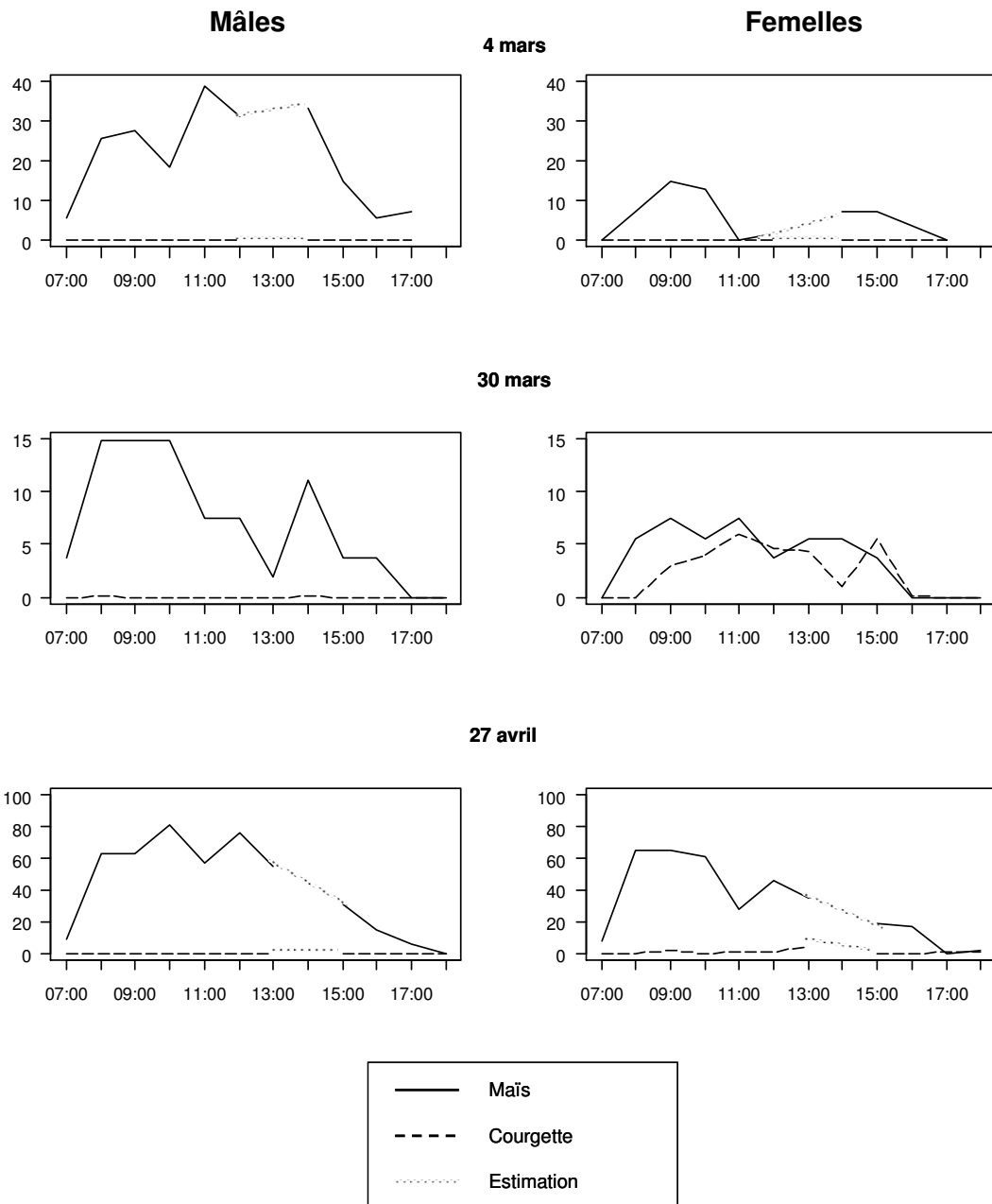


**Annexe 5** : Effectifs\* de *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezi* réellement observés à Tan Rouge. (\* somme des 2 répétitions)

|                 |               | <i>B. cucurbitae</i> |      | <i>D. ciliatus</i> |     | <i>D. demmerezi</i> |    |
|-----------------|---------------|----------------------|------|--------------------|-----|---------------------|----|
|                 |               | M                    | F    | M                  | F   | M                   | F  |
| <b>04/03/10</b> | Sur maïs      | 209                  | 119  | 113                | 30  | 58                  | 19 |
|                 | Sur courgette | 0                    | 0    | 0                  | 0   | 0                   | 0  |
| <b>24/03/10</b> | Sur maïs      | 82                   | 91   | 52                 | 23  | 64                  | 27 |
|                 | Sur courgette | 0                    | 44   | 0                  | 7   | 1                   | 30 |
| <b>30/03/10</b> | Sur maïs      | 90                   | 88   | 45                 | 24  | 37                  | 19 |
|                 | Sur courgette | 0                    | 43   | 0                  | 11  | 2                   | 51 |
| <b>01/04/10</b> | Sur maïs      | 91                   | 106  | 68                 | 31  | 43                  | 34 |
|                 | Sur courgette | 1                    | 63   | 2                  | 9   | 1                   | 89 |
| <b>06/04/10</b> | Sur maïs      | 117                  | 145  | 48                 | 33  | 61                  | 56 |
|                 | Sur courgette | 0                    | 16   | 0                  | 1   | 0                   | 84 |
| <b>13/04/10</b> | Sur maïs      | 133                  | 159  | 69                 | 17  | 45                  | 59 |
|                 | Sur courgette | 0                    | 38   | 0                  | 1   | 0                   | 82 |
| <b>20/04/10</b> | Sur maïs      | 412                  | 412  | 118                | 36  | 54                  | 31 |
|                 | Sur courgette | 0                    | 31   | 0                  | 3   | 0                   | 88 |
| <b>27/04/10</b> | Sur maïs      | 880                  | 1002 | 247                | 186 | 72                  | 72 |
|                 | Sur courgette | 6                    | 30   | 1                  | 2   | 0                   | 8  |



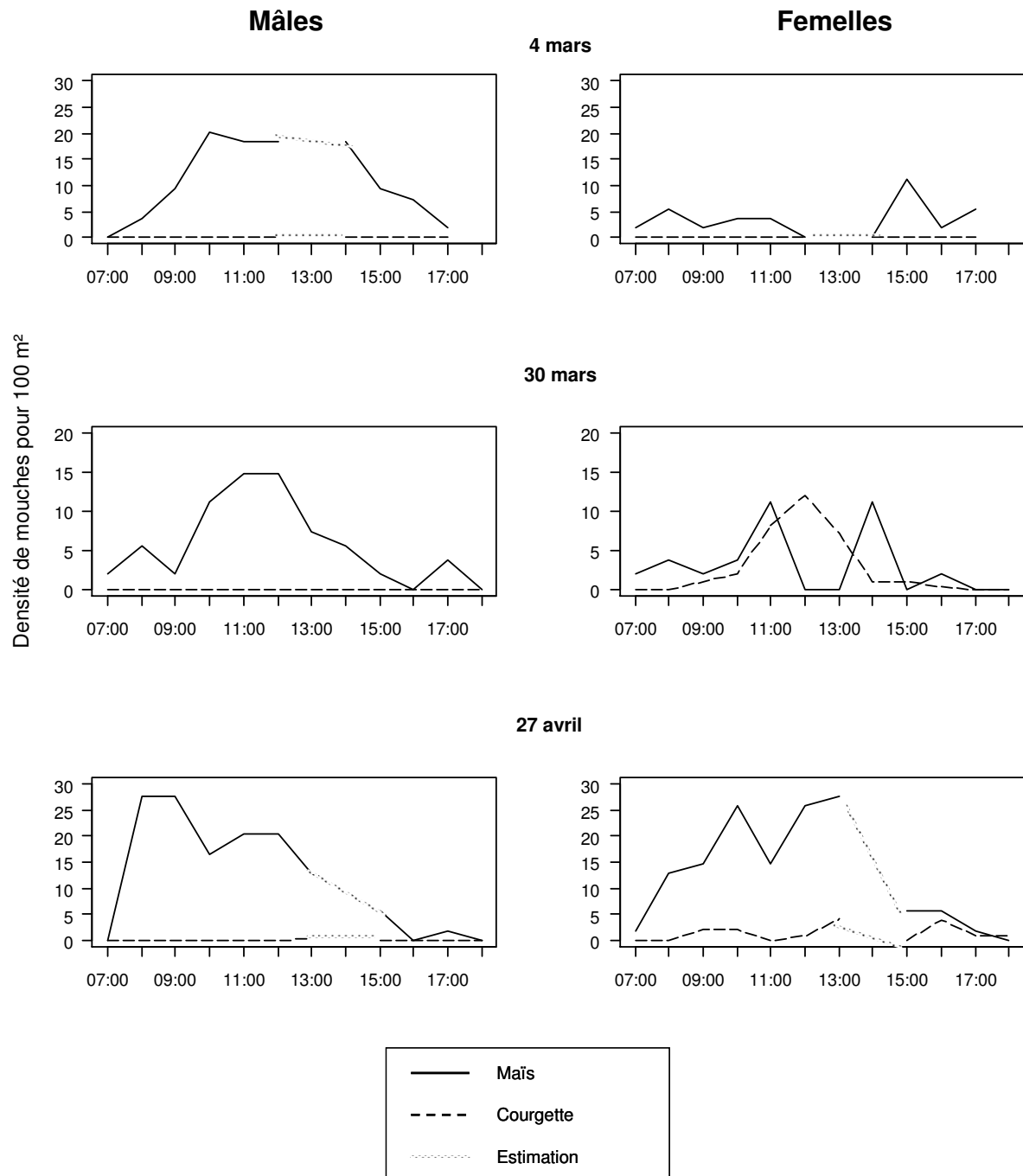
## Densité de mouches sur courgette







**Annexe 7** : Evolution journalière de la densité de *D. demmerezi* (pour 100 m<sup>2</sup>) par sexe, à Tan Rouge, pour trois situations particulières.





**Annexe 8 :** Effectifs dénombrés quotidiennement (cumul de 12 relevés) en distinguant le sexe, la plante et l'activité.

|          | Maïs  |         | Courgette |  |       |
|----------|-------|---------|-----------|--|-------|
|          | Repos |         | Repos     | Repos = période de pré-<br>et post-ponte | Ponte |
|          | Mâle  | Femelle | Mâle      | Femelle                                  |       |
| 04/03/10 | 380   | 168     | 0         | 0  | 0     |
| 24/03/10 | 198   | 141     | 1         | 62                                       | 19    |
| 30/03/10 | 172   | 131     | 2         | 82                                       | 23    |
| 01/04/10 | 202   | 171     | 4         | 143                                      | 21    |
| 06/04/10 | 226   | 234     | 0         | 77                                       | 24    |
| 13/04/10 | 247   | 235     | 0         | 103                                      | 18    |
| 20/04/10 | 584   | 479     | 0         | 112                                      | 10    |
| 27/04/10 | 1199  | 1262    | 7         | 39                                       | 1     |

**Annexe 9 :** Effectifs quotidiens pour l'ensemble de chaque modalité (soit 8 bandes et 16 patchs), pour une modalité, et pour chaque modalité ramenée à une surface de 100 m<sup>2</sup>.

|          | Ensemble |           | Une modalité |         | Surface de 100 m <sup>2</sup> |       |
|----------|----------|-----------|--------------|---------|-------------------------------|-------|
|          | 8 Bandes | 16 Patchs | 1 Bande      | 1 Patch | Bande                         | Patch |
| 04/03/10 | 220      | 145       | 55           | 21      | 1100                          | 2071  |
| 24/03/10 | 154      | 50        | 39           | 7       | 770                           | 714   |
| 30/03/10 | 103      | 72        | 26           | 10      | 515                           | 1029  |
| 01/04/10 | 146      | 79        | 37           | 11      | 730                           | 1129  |
| 06/04/10 | 172      | 99        | 43           | 14      | 860                           | 1414  |
| 13/04/10 | 162      | 97        | 41           | 14      | 810                           | 1386  |
| 20/04/10 | 309      | 291       | 77           | 42      | 1545                          | 4157  |
| 27/04/10 | 911      | 625       | 228          | 89      | 4555                          | 8928  |



**Annexe 10** : Durée des différents stades du cycle biologique des trois espèces de Dacini.

| <i>Espèces de Dacini</i> | Durée des stades pré-imaginaux (en jours) |                     |              |          | Préoviposition (en jours) | Références                   |
|--------------------------|---|---------------------|--------------|----------|---------------------------|------------------------------|
|                          | Conditions                                | Incubation des œufs | Vie larvaire | Pupaison |                           |                              |
| <i>B.cucurbitae</i>      | 24±1°C RH: 60 ± 5%                        | 1,3                 | 6,6          | 10,2     | 06 à 10                   | (Vargas <i>et al</i> , 1996) |
| <i>D.ciliatus</i>        | 18°C                                      | 4 à 5               | 15 à 17      | 14 à 17  | –                         | (Orian et Moutia, 1960)      |
|                          | 23°C                                      | 2 à 3               | 4 à 6        | 7 à 9    | –                         |                              |
| <i>D.demmerezi</i>       | 18°C                                      | 3 à 4               | 15 à 18      | 16 à 18  | –                         | (Orian et Moutia, 1960)      |
|                          | 23°C                                      | 2 à 3               | 5 à 6        | 8 à 11   | –                         |                              |



## LA BOÎTE À OUTILS DE GAMOUR

### P<sub>1</sub> Prophylaxie

Les mouches se multiplient dans les légumes piqués qui tombent à terre. Ramasser et détruire ces légumes, c'est donc détruire une grande partie de ces mouches. On peut améliorer la technique en utilisant un augmentonum. Il s'agit d'une structure simple constituée d'un sac complètement hermétique équipé d'un grillage fin : les légumes sont enfermés à l'intérieur et les mouches sont piégées, par contre les insectes utiles qui sont plus petits peuvent s'échapper pour parasiter d'autres mouches dans la parcelle.

### P<sub>2</sub> Plantes de bordure

Les mouches passent l'essentiel du temps sur la végétation environnante pour se nourrir/s'accoupler, dormir... Certaines plantes comme le maïs sont très attractives pour les mouches. On plante donc une haie en bordure de parcelle pour les attirer. Sur la haie est régulièrement appliquée de petites touches d'un attractif alimentaire à base de protéines dont les mouches raffolent. En venant l'ingurgiter, elles avalent une très petite quantité d'un bio-pesticide d'origine naturelle, le spinosad, tuant ainsi pour elles le maïs mortel pour l'Homme et l'environnement.

### S Surveillance

Sur les sites pilotes, les populations de mouches sont suivies tout au long de l'année à l'aide de pièges attractifs. Ceci permet d'évaluer en continu l'efficacité du programme : lorsque la taille de ces populations dépasse un seuil d'alerte, elles représentent une menace pour les cultures. Le reste du dispositif est alors mis en place pour contraindre cette menace.

### P<sub>3</sub> Prédateurs & parasitoïdes

De nombreux ennemis naturels des mouches des légumes, tels que les araignées *Nephila* sp. et les guêpes parasitoïdes *Psyllaia fletcheri* sont présents dans la nature à La Réunion. Ils sont inoffensifs pour l'Homme et le reste de l'écosystème. La lutte biologique consiste à augmenter l'efficacité de ces ennemis naturels en les élevant puis les relâchant, ou bien en favorisant leur développement (réduction des pesticides, création de zones fleuries...)

### P<sub>4</sub> Piégeage de masse

Les mouches peuvent également être attirées par des pièges appâtés à l'aide d'attractifs alimentaires ou sexuels. Les mâles de deux espèces, par exemple, sont très fortement attirés par le Cueleure, un composé qui copie les phéromones émises par leurs femelles. À l'aide d'un réseau dense de tels pièges, on élimine ainsi beaucoup de mouches sans nuire à l'environnement.

### P<sub>5</sub> Pratiques agroécologiques

Elles consistent à modeler le paysage agricole pour favoriser les autres pratiques : les plantes pièges attirent les mouches, d'autres les repoussent, d'autres offrent des refuges et de la nourriture aux ennemis naturels... Le principe est d'augmenter la diversité végétale dans la parcelle et ses environs pour aider l'agroécosystème à retrouver son équilibre naturel.